



Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial.

Universidad de Zaragoza.

MEMORIA

Instalación de energía solar térmica
para producción de ACS en una vivienda
unifamiliar en Larraul, Guipúzcoa.





ÍNDICE (1-3)

1.1. INTRODUCCIÓN (6-17)

1.1.1. El sol como fuente de energía (7-10)

1.1.2. Estado actual de la energía solar térmica en España (11-12)

1.1.3. Clasificación de los sistemas solares (13-14)

1.1.4. Aplicaciones de los sistemas solares activos (14-16)

1.1.5. Argumentos a favor de las instalaciones solares térmicas (16-17)

1.2. MEMORIA DESCRIPTIVA (18-25)

1.2.1. Título del proyecto (19)

1.2.2. Objeto del proyecto (19)

1.2.2.1. Antecedentes (19)

1.2.2.2. Objetivo (19)

1.2.3. PETICIONARIO (20)

1.2.4. ÁMBITO DE APLICACIÓN (20)

1.2.5. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN (21-25)

1.2.5.1. Emplazamiento (21-22)

1.2.5.2. Descripción del edificio (23)

1.2.5.3. Características de la vivienda (23-25)

1.3. INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA (26-172)

1.3.1. Descripción de la instalación (27-51)

1.3.1.1. Introducción (27-28)

1.3.1.2. Componentes de una instalación solar (29-42)

1.3.1.2.1. Captadores solares (30-33)

1.3.1.2.2. Intercambiador de calor (33-34)

1.3.1.2.3. Acumuladores de agua (36-37)





1.3.1.2.4. Circuito hidráulico (34-42)

1.3.1.3. Configuraciones de las instalaciones solares de ACS (43-51)

1.3.1.3.1. Sistema por termosifón (43-44)

1.3.1.3.2. Sistema de ACS de circulación forzada (45)

1.3.1.3.3. Sistema de ACS pequeño de circulación forzada (46)

1.3.1.3.4. Sistemas de ACS medianos y grandes de circulación forzada (46)

1.3.1.3.5. Sistemas de ACS con acumuladores de inercia (47)

1.3.1.3.6. ACS centralizado (48)

1.3.1.3.7. Acumulador solar centralizado e intercambiador en cada vivienda (49-50)

1.3.1.3.8. Acumulador individual en cada vivienda (50-451)

1.3.1.4. Descripción de la instalación a instalar (51)

1.3.2. Métodos de cálculo (52-57)

1.3.2.1. Introducción (52-53)

1.3.2.2. Dimensionado básico (53-54)

1.3.2.3. Métodos de cálculo simplificados (54-55)

1.3.2.4. Programas de simulación (56-57)

1.3.3. Cálculos justificativos (58-164)

1.3.3.1. Cálculo de necesidades (58-65)

1.3.3.1.1. Criterio de cálculo (58)

1.3.3.1.2. Cálculo de necesidades (58 - 6)

1.3.3.1.3. Datos obtenidos (65)

1.3.3.2. Cálculo de la aportación solar (66 - 71)

1.3.3.2.1. Criterio de cálculo (66)

1.3.3.2.2. Cálculo de la aportación solar (66 - 70)

1.3.3.2.3. Datos obtenidos (70 -71)





1.3.3.3. Cálculo de la superficie colectora (71 - 91)

1.3.3.3.1. Selección del colector (72 -86)

1.3.3.3.2. Cálculo del número de colectores necesario (86 - 87)

1.3.3.3.3. Cálculo de la energía aprovechable (88)

1.3.3.3.4. Cálculo de la contribución solar (88-91)

1.3.3.4. Dimensionado de los elementos de la instalación (91 -164)

1.3.3.4.1. Introducción (91 - 92)

1.3.3.4.2. Sistema de termotransferencia (93 - 117)

1.3.3.4.2.1. Introducción (93)

1.3.3.4.2.2. Fluido caloportador (93 -103)

1.3.3.4.2.3. Tuberías y aislamientos (103 -110)

1.3.3.4.2.4. Vaso de expansión(111 -117)

1.3.3.4.3. Sistema de acumulación (118 - 131)

1.3.3.4.3.1. Características generales (118-123)

1.3.3.4.3.2. Requisitos para el dimensionado (123-124)

1.3.3.4.3.3. Selección del acumulación (124-130)

1.3.3.4.3.4. Intercambiador de calor (130-131)

1.3.3.4.4. Bombas de circulación (131-137)

1.3.3.4.5. Aislamiento (138-139)

1.3.3.4.6. Valvulería (140-151)

1.3.3.4.7. Sistema de energía auxiliar (152 -159)

1.3.3.4.8. Sistema de control (159 - 164)

1.3.4. Esquema de principio (164 - 166)

1.3.5. Resumen de los elementos seleccionados (167 - 172)

1.4. ESTUDIO ECONÓMICO (173 - 184)

1.4.1. Introducción (174-175)





1.4.2. Datos de partida (176-177)

1.4.2.1. Ingresos (176)

1.4.2.2. Costes (177)

1.4.3. Resultados (178-182)

1.4.3.1. Sin subvención (178-180)

1.4.3.2. Con subvención (181-184)

1.4.4. Resumen de los resultados (185)

1.4.5. Conclusiones del estudio económico (185-187)

1.5. CONCLUSIONES (187-189)

1.6. BIBLIOGRAFÍA (190-191)





1.1. INTRODUCCIÓN





1.1.1. EL SOL COMO FUENTE DE ENERGÍA

La radiación solar es la principal fuente de energía de este planeta. Su transformación en calor, cuando es interceptada por la superficie de la Tierra, es utilizada por el hombre como sistema de calefacción. Este proceso se denomina conversión térmica natural de la radiación solar.

Debido a la gran distancia entre el sol y la Tierra, la radiación solar en la superficie terrestre es sólo una pequeña parte de la emitida por el sol ($3,86 \cdot 10^{26} \text{ W}$ que, por unidad de superficie del sol es $6,35 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$). En concreto, al planeta Tierra llegan como valor medio en torno a 1.400 W/m^2 , lo que se denomina *constante solar*.

Más exactamente se puede definir la *constante solar* como la cantidad de energía solar que por unidad de tiempo incide perpendicularmente sobre una superficie de área unitaria colocada fuera de la atmósfera terrestre a una distancia del Sol igual a la distancia promedio Sol-Tierra.

Sin embargo, no toda esta energía llega a la superficie terrestre para su aprovechamiento. La intensidad de la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra se reduce por varios factores variables, entre ellos, la absorción de la radiación, en intervalos de longitud de onda específicos, por los gases de la atmósfera, dióxido de carbono, ozono, etc., por el vapor de agua, por la difusión atmosférica por la partículas de polvo, moléculas y gotitas de agua, por reflexión de las nubes y por la inclinación del plano que recibe la radiación respecto de la posición normal de la radiación. (**Figura 1.1. Radiación solar aprovechable**)



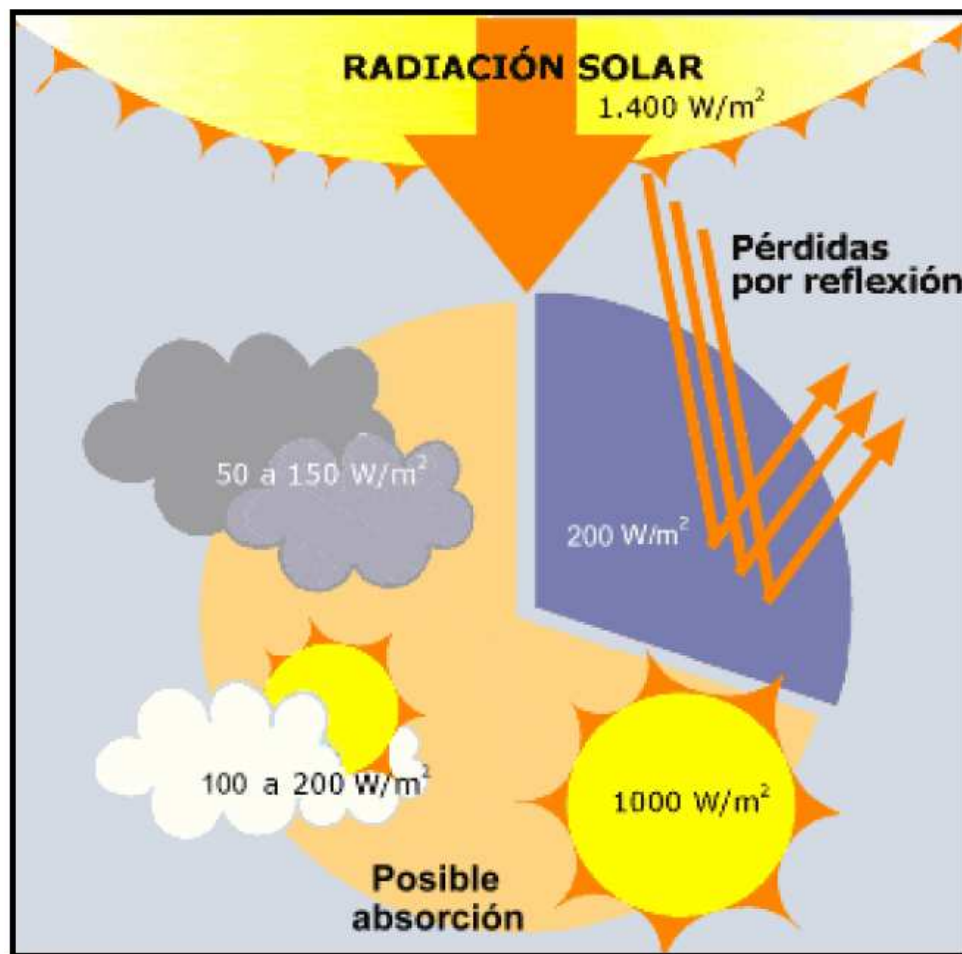


Figura 1.1. Radiación solar aprovechable

Por tanto, de media, la energía del Sol que puede ser aprovechada está en torno a los 1.000 W/m^2 , aunque difiere de unas zonas a otras dentro del planeta Tierra; incluso dentro de España estos valores de posible absorción son distintos para unas regiones y para otras.

Los efectos meteorológicos locales como nubosidad, lluvia o nieve, también afectan a la potencia radiante que puede ser aprovechada en un lugar determinado. En un plano horizontal, un día claro al mediodía, la irradiancia alcanza un valor máximo de unos 1.000 W/m^2 . Este valor depende del lugar, y sobre todo, de la nubosidad.



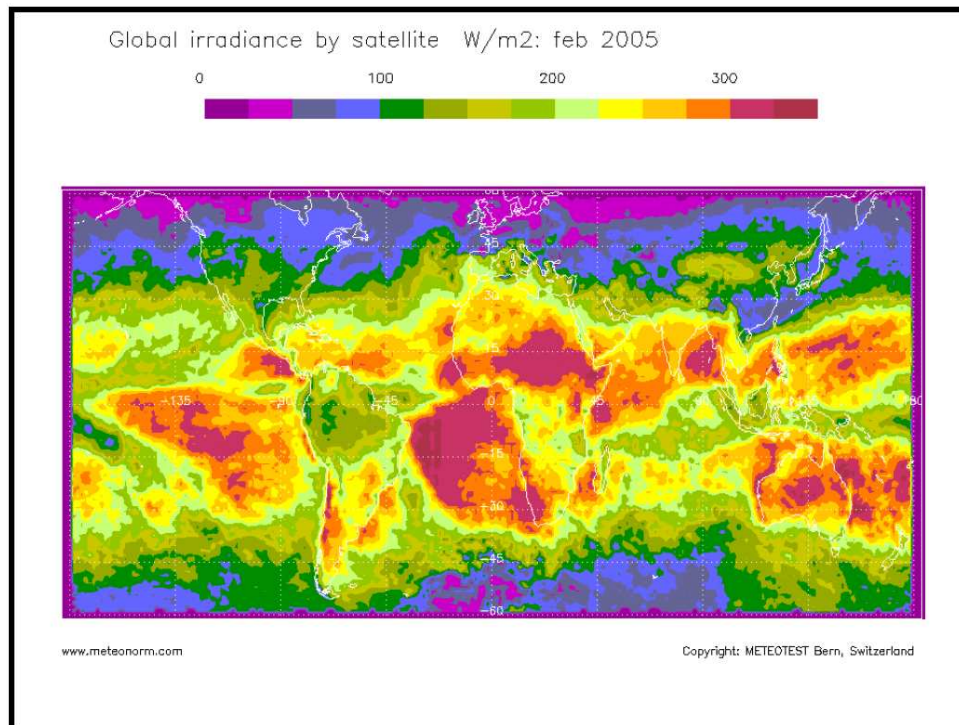


Figura 1.2. Valores de irradiancia solar en La Tierra

En la **Figura 1.2. Valores de irradiancia solar en La Tierra** se muestran los valores de irradiancia solar en superficie horizontal en las distintas zonas de la Tierra. En Europa, por ejemplo, existe mucha diferencia entre los niveles de radiación solar según la estación del año, dándose valores extremos en verano e invierno.

Por otro lado, señalar que en España también existen diferencias regionales claras de irradiación global media anual, teniendo la zona sur los mayores valores.

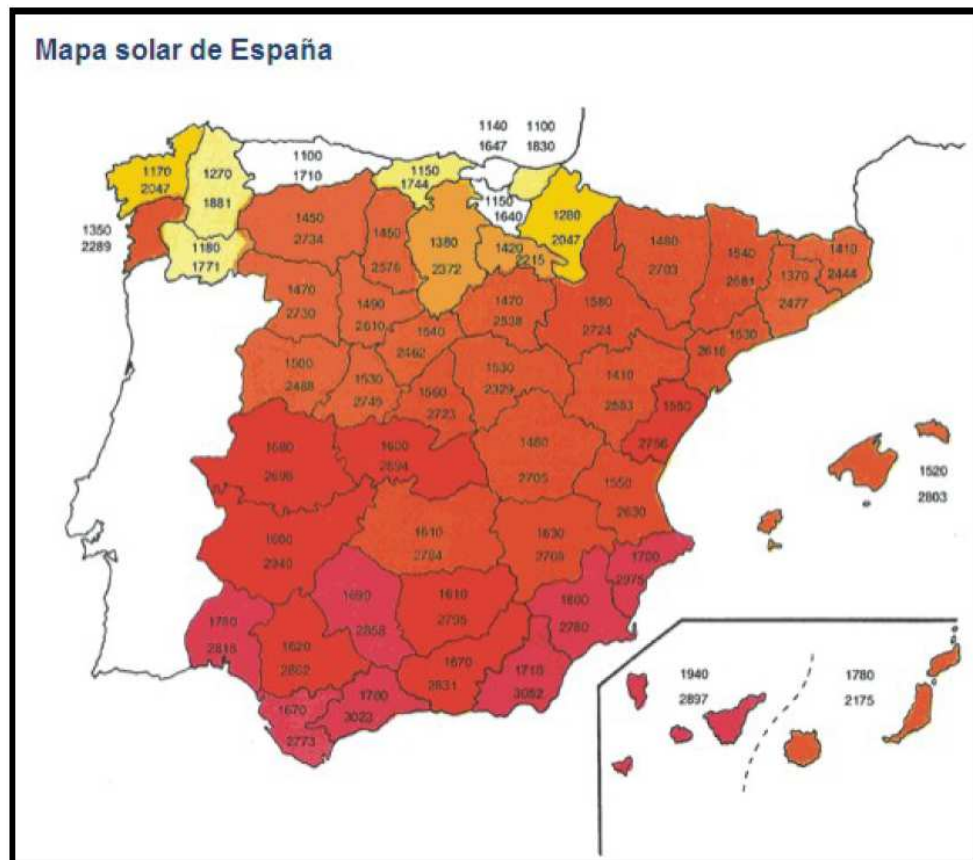


Figura 1.3. Datos de irradiancia y número medio de horas de Sol en España (CENSOLAR)

La cifra superior en cada provincia representa la energía en kWh que incide por m² de superficie horizontal en un año, y la cifra inferior el número de horas de sol. Generalmente las medidas suelen referirse a la capital, por lo que los valores para otros puntos de la provincia pueden ser diferentes.



1.1.2. ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN ESPAÑA

El Sol nos regala su energía en forma de luz y calor y gracias a una tecnología establecida, eficiente y no contaminante se puede utilizar para la iluminación y calentamiento de edificios reduciendo los consumos energéticos para la producción de agua caliente sanitaria, la calefacción, el calentamiento de piscinas y la climatización. Su utilización se justifica no sólo en el ahorro energético y la rentabilidad del usuario, sino que además contribuye al bien común: la mejora de la calidad del aire de las ciudades y del país; la rentabilidad macroeconómica por el uso de recursos propios, la generación de riqueza interna y de empleos, y la reducción de la dependencia energética externa.

España es uno de los países de la Unión Europea con mayores recursos energéticos en cuanto a radiación solar recibida, tal y como se observa en la **Figura 1.4.**, a partir de las isolíneas de radiación solar global anual sobre una superficie horizontal.

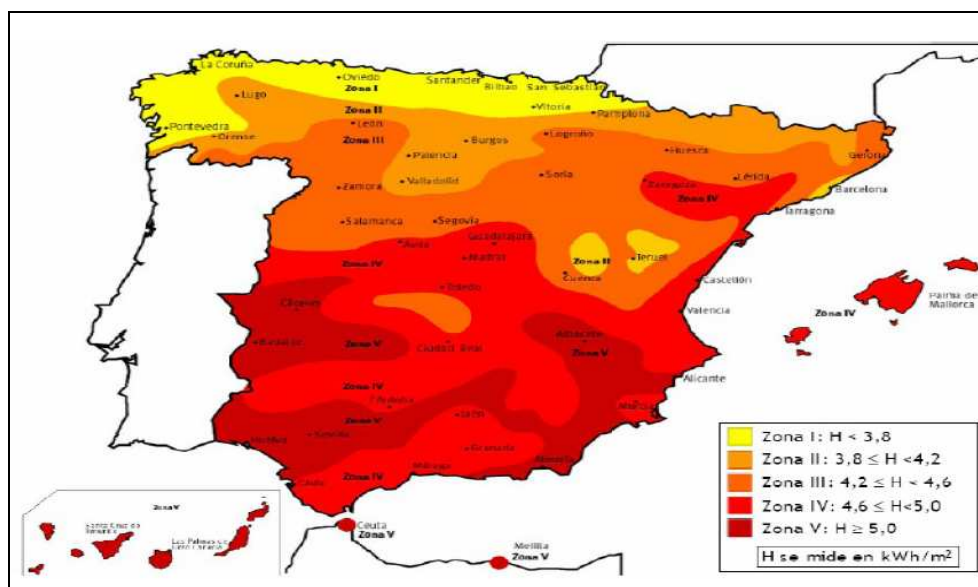


Figura 1.4. Valor medio anual de la radiación solar global diaria en superficie horizontal en España
(Instituto Nacional de Meteorología)





Aunque la radiación solar disponible no es totalmente aprovechable, debido al rendimiento del captador solar y del resto de equipos del sistema, España es capaz de obtener un 70% de la energía requerida para producir agua caliente en todos los hogares con una pequeña parte de esta radiación.

Analizando el estado actual de España y las tendencias al incremento de las demandas, con la implantación de instalaciones de producción de agua caliente mediante sistemas solares térmicos para la producción de agua caliente, dentro del sector vivienda y el sector restaurante y alojamientos, constituyen un descenso importante de la dependencia de fuentes convencionales para producir la energía demandada.

Las perspectivas del mercado de captadores solares térmicos en nuestro país son excelentes. El Plan de Fomento de las Energía Renovables cifró como objetivo para el 2010 la instalación de 4.500.000 m² de captadores solares adicionales.

Los principales mecanismos que explican este despertar solar están ligados tanto al crecimiento del interés social por la protección del medio ambiente, como a una actitud mucho más activa por parte de las Administraciones (Ayuntamientos, Comunidades Autónomas y Administración Central), que han abierto líneas de subvenciones mucho más generosas y que están introduciendo elementos y obligatoriedad solar dentro de las regulaciones de su competencia.

Las ordenanzas solares muestran una preocupación especial por garantizar la calidad de las instalaciones solares y su correcto mantenimiento, se promueve la eficiencia energética de los captadores solares y se muestra especial interés en que la Integración Arquitectónica de la instalación sea adecuada. Con las ordenanzas solares, los usos afectados son prácticamente todos los edificios de nueva construcción o aquellos a los que se les somete a una reforma sustancial; las únicas excepciones van ligadas a la imposibilidad física de aprovechar el sol o a elementos de protección del patrimonio Histórico Artístico.





1.1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS SOLARES

Los sistemas solares se pueden clasificar en dos grupos:

Sistemas solares Pasivos:

Son aquellos sistemas solares térmicos, en los cuales se utiliza la energía proveniente del Sol y un adecuado diseño del edificio. Son capaces de limitar al máximo las necesidades energéticas del edificio, en las diferentes épocas del año, mediante el aprovechamiento racional de la energía solar en época de invierno y el aislamiento y la evacuación del calor en época de verano.

Sistemas solares Activos:

Son aquellos sistemas solares térmicos, que utilizan la radiación solar para calentar un fluido (agua, aceite o mezcla de agua y anticongelante), que se conduce al punto de consumo mediante un sistema de transporte que generalmente consume energía.

Los sistemas solares térmicos activos, se pueden clasificar en función del nivel de temperaturas de funcionamiento:

Alta temperatura: Centrales termosolares, con temperaturas superiores a los 300°C.

Media temperatura: En este tipo de sistemas, asociados a procesos industriales, el rango de temperatura máximo está entorno a los 250 °C y los 300°C.





Baja temperatura: Este tipo de instalaciones se localizan en edificios de viviendas y del sector terciario, como hoteles y oficinas. El rango de temperatura de funcionamiento, se encuentra por debajo de los 100°C.

Las instalaciones solares térmicas de baja temperatura, se usan principalmente para calentar agua u otros fluidos mediante captadores solares planos.

1.1.4. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS SOLARES ACTIVOS

Las aplicaciones de energía solar están guiadas por los siguientes principios:

El sistema solar debe ser un elemento más de las instalaciones térmicas de los edificios y, en ese sentido, debe trabajar en sintonía con el resto de los equipos de confort térmico, buscando soluciones globales de ahorro energético y protección del medio ambiente.

El sistema solar debe integrarse armónicamente con las soluciones arquitectónicas adoptadas en el edificio.

Un correcto mantenimiento es básico para garantizar que el sistema solar funcione adecuadamente durante muchos años ahorrando el consumo de combustibles fósiles y evitando sus emisiones contaminantes.

Las aplicaciones más comunes de los sistemas solares térmicos son las siguientes:





Producción de agua caliente sanitaria (A.C.S.):

Se trata de calentar el agua de uso doméstico: duchas o baños, grifos de fregaderos, etc. Se consiguen aportes de entre un 70% y el 100% de la energía necesaria.

Climatización de piscinas:

La energía solar también es útil para la climatización del agua de las piscinas para poder utilizarlas fuera del periodo estival. Ya sea para piscinas cubiertas como para descubiertas, la energía solar suele ser la forma más rentable de climatizarlas.

Calefacción:

Se puede utilizar el agua calentada para que circule por el sistema de calefacción durante el invierno. Aunque las horas de sol son menos en invierno, la energía solar supone entre un 30 % y un 50% de la energía requerida para el sistema de calefacción.

Refrigeración:

Utilizando sistemas de absorción.

Agua caliente para usos industriales:

En la actualidad, la gran mayoría de las empresas utilizan calderas con combustibles fósiles para producir agua caliente o vapor. Los sistemas solares térmicos, se utilizan para precalentar el agua a la entrada de éstas, cuando no sea factible utilizar un economizador, o para sustituir a éstas en las horas donde la producción de agua caliente alcance las condiciones de trabajo necesarias para el proceso productivo.





De todos ellos el más extendido es el de producción de A.C.S.

1.1.5. ARGUMENTOS A FAVOR DE LAS INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS

Dado que las instalaciones solares suministran energía sin emisión alguna de gases que provocan efecto invernadero, sus propietarios contribuyen activamente a la prevención del cambio climático.

Las instalaciones solares, con una vida útil media de 20 años, son una prueba de una tecnología de confianza y de alto nivel.

Los propietarios de las instalaciones solares evitan costes adicionales por el aumento de los precios de la energía y las ecotasas; de esta manera logran alcanzar cierta independencia económica.

El factor económico principal surge de la apreciable inversión inicial en la instalación solar. Sin embargo, los costes se pueden calcular con exactitud y con muchos años de antelación. En cambio, los costes del combustible para las instalaciones de calentamiento convencional varían considerablemente y no se pueden calcular con un período considerablemente y no se pueden calcular con un período de antelación de 20 años. Por consiguiente, una instalación solar representa una inversión segura.

Las instalaciones solares requieren un mantenimiento mínimo y consumen una pequeña cantidad de energía eléctrica auxiliar.





Los propietarios de las instalaciones solares se benefician a menudo de las ventajas relativas a los impuestos y de las subvenciones gubernamentales.

Las instalaciones solares mejoran la imagen de una edificación.

En los edificios con instalaciones solares para uso de calefacción, no se evitan los costes de ésta.

Las instalaciones solares utilizan una fuente de energía prácticamente inagotable. Su utilización contribuye a la conservación de los recursos de energía convencional y garantiza al país una mayor independencia, tanto económica como política.

La adquisición y aplicación de las instalaciones solares asegura y fomenta conocimientos y experiencias sobre esta moderna tecnología en el país donde se utilizan, estableciendo una base sólida para el desarrollo económico positivo y abriendo nuevos mercados tanto a nivel nacional como internacional.

Gracias a la continua expansión de la energía solar térmica, se han creado puestos de trabajo adicional en la industria y en muchos oficios auxiliares.





1.2. MEMORIA DESCRIPTIVA





1.2.1. TÍTULO

“Instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria en una vivienda unifamiliar en Larraul, Guipúzcoa”.

1.2.2. OBJETO DEL PROYECTO

1.2.2.1. ANTECEDENTES

Se trata de una vivienda de nueva construcción en la que el agua de consumo se calienta por medio de una caldera de gas de calentamiento instantáneo.

El edificio esta en uso desde el año 2000. Dispone de instalación de calefacción a través de una chimenea, ésta calienta el aire que se distribuye por un circuito de calefacción.

1.2.2.2. OBJETIVO

El objetivo del presente proyecto es el estudio, cálculo y diseño de la instalación solar térmica para el abastecimiento de agua caliente sanitaria (ACS a partir de ahora) para una vivienda unifamiliar situada en el término municipal de Larraul, provincia de Guipúzcoa.

En el presente proyecto se incluirá también un pliego de condiciones, un apartado de planos y un presupuesto de la instalación.





1.2.3. PETICIONARIO

Este proyecto corresponde al proyecto final de carrera de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Mecánica, realizado por medio del departamento de Ingeniería Mecánica, en el área de Máquinas y Motores Térmicos, en el que la profesora Amaya Martínez Gracia es la encargada de la supervisión del mismo.

1.2.4. ÁMBITO DE APLICACIÓN

A efectos de la aplicación del RITE, tal como se establece en su artículo 2, se considerarán como instalaciones térmicas las instalaciones fijas de climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) y de producción de agua caliente sanitaria, destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas.

Se aplicará a las instalaciones térmicas en los edificios de nueva construcción y a las instalaciones térmicas en los edificios construidos, en lo relativo a su reforma, mantenimiento, uso e inspección, con las limitaciones que en el mismo se determinan.



1.2.5. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN

1.2.5.1. EMPLAZAMIENTO

El estudio se realizará para una pequeña localidad situada en el norte del Estado, en la provincia de Guipúzcoa.



Figura 1.5. Mapa del Estado por provincias



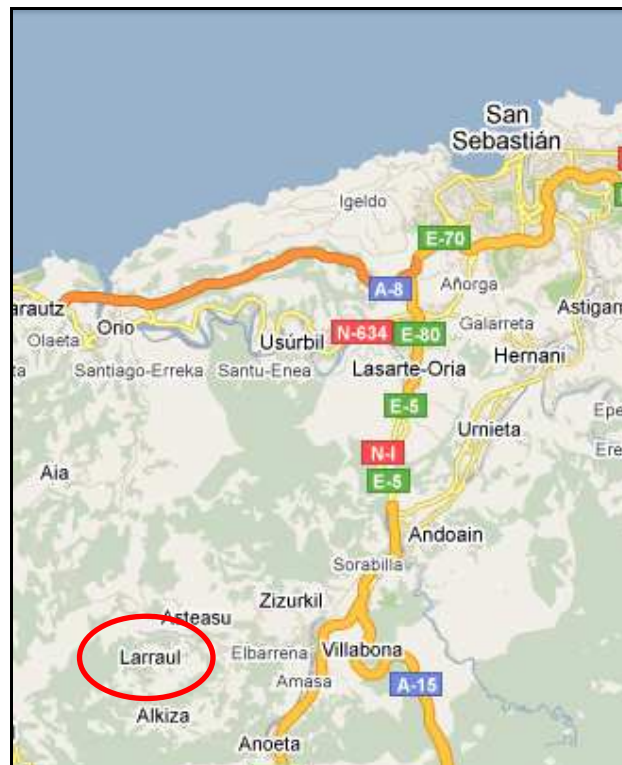


Figura 1.6. Ubicación de la localidad

La vivienda se encuentra situada en Larraul, un pequeño pueblo de la provincia de Guipúzcoa a 25 kilómetros de la capital. Se trata de una zona montañosa, alejada de los grandes núcleos urbanos.

Coordenadas: 43.1901,-2.0977



Figura 1.7. Vista espacial de la localidad

1.2.5.2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

Se trata de un conjunto de 5 viviendas bifamiliares con tejado a dos aguas en orientación N-S. Estas viviendas de dos plantas están compuestas por 3 dormitorios, salón, cocina, 3 baños, tendedero, garaje, terraza y jardín privado; en total una superficie útil de 213 m².

Las viviendas están situadas en la calle Núcleo de la localidad de Larraul, Guipúzcoa.



Figura 1.8. Vista de la urbanización (www.goozoom.com)

1.2.5.3. CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA

A continuación se resumen las superficies de la vivienda según las plantas de la misma, datos que se observan con mayor detalle en el apartado de planos, más concretamente en los correspondientes a las distribuciones.



PLANTA SÓTANO:

Superficie total: 80,71 m2.

Garaje: 58,81 m2

Vestíbulo: 2,28m2.

Acceso: 1,41 m2.

PLANTA BAJA:

Superficie total: 72,76 m2. (Construido: 83 m2)

Pasillo/vestíbulo: 6,46 m2.

Escalera: 5,52 m2.

Baño: 3,37 m2.

Tendedero: 10,27 m2.

Cocina: 13,8 m2.

Salón-Comedor: 28,89 m2.

Despensa: 4,45 m2.

PLANTA PRIMERA:

Superficie total: 70,86 m2. (Construido: 70,66 m2)

Escalera: 5,13 m2.

Pasillo: 5,01 m2.

Despacho: 8,95 m2.

Dormitorio 1: 12,62 m2.

Dormitorio 2: 12,62 m2.



Dormitorio 3: 17,01 m².

Baño 1: 4,03 m².

Baño 2: 4,03 m².

Terraza: 2,47 m².



Figura 1.9. Vista de la urbanización

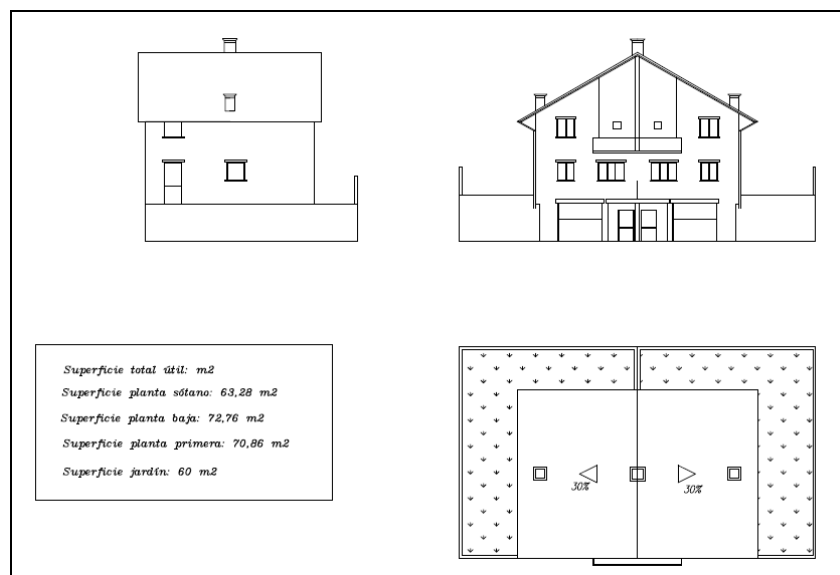


Figura 1.10. Vistas de la vivienda según planos





1.3. INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA LA PRODUCCIÓN DE ACS



1.3.1. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

1.3.1.1. INTRODUCCIÓN

La producción de A.C.S. en edificios de viviendas y en el sector terciario, mediante la utilización de energía solar puede realizarse siguiendo múltiples esquemas de principio. No obstante, en todos ellos pueden identificarse las siguientes partes esenciales, tal como indica la **Figura 1.11. Esquema de funcionamiento**.

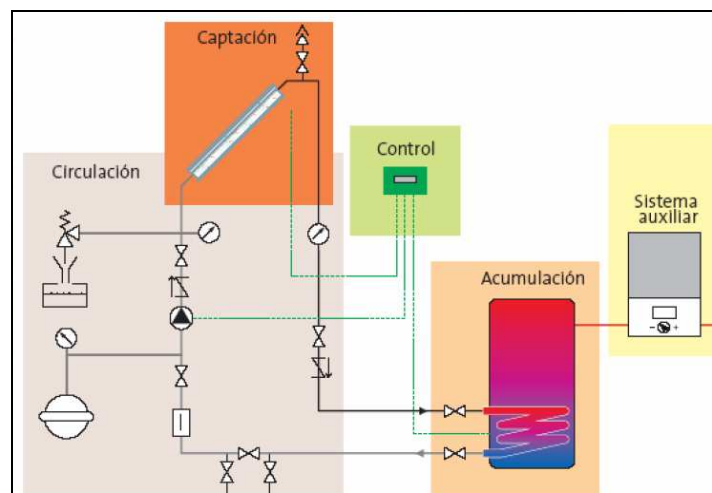


Figura 1.11. Esquema de funcionamiento

Subsistema de captación

Está compuesto de captadores solares. Éstos reciben la energía del Sol y la transmite al fluido caloportador que lo transporta hasta los elementos de intercambio o de acumulación, dependiendo de la instalación.





Subsistema de acumulación

Debido a la existencia de un desfase horario entre la producción de A.C.S. y el consumo, es necesario un dispositivo encargado de acumular la energía captada. Se suele realizar en depósitos horizontales o verticales, siendo preferentemente usados éstos últimos porque favorecen la estratificación del agua.

Subsistema auxiliar

Debido a que la energía solar no puede cubrir el 100% de la demanda de los consumidores, es necesario un sistema que sea capaz de absorber esa carencia de energía. Los sistemas auxiliares, pueden ser mediante una caldera de gas, por salto de temperatura o mediante un sistema eléctrico.

Subsistema de control

Compuesto por todos los elementos de control y regulación, tales como termostatos, presostatos, etc. Está encargado de controlar el sistema.

Subsistema de consumo

Concebimos este subsistema como las unidades terminales de consumo.



1.3.1.2. COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR

Independientemente de la configuración elegida para cada edificio, todas las instalaciones se caracterizan por estar compuestas por los siguientes elementos:

- Captador solar
- Intercambiador de calor
- Depósito de acumulación
- Circuito hidráulico
- Elementos de control y seguridad

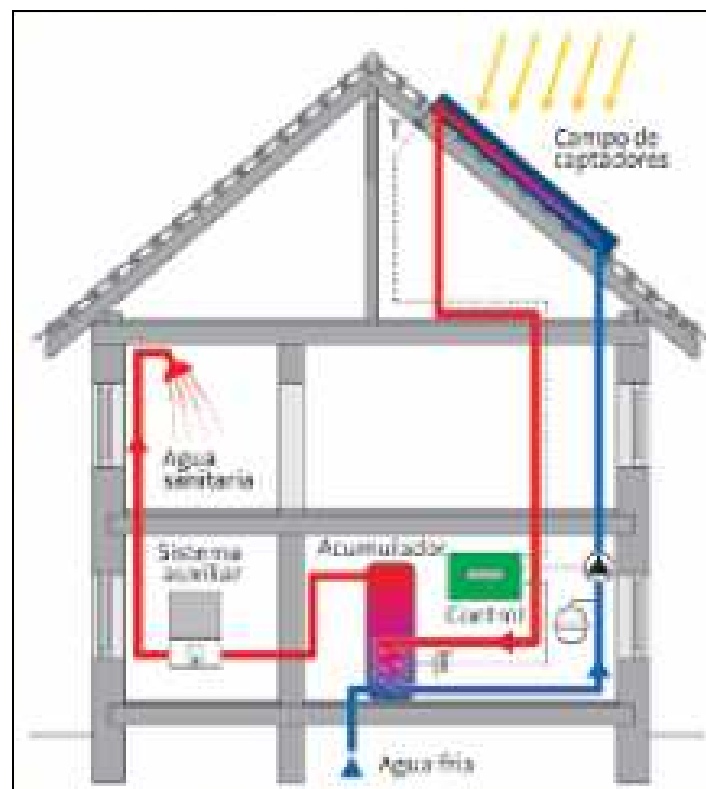


Figura 1.12. Elementos de una instalación solar



1.3.1.2.1. CAPTADORES SOLARES

El captador representa la fuerza motriz de la instalación. Un captador tiene como objetivo transformar la radiación solar incidente en energía térmica mediante el aumento de temperatura del fluido que circula a través del mismo, transfiriéndose el calor generado a través del circuito primario que en la mayoría de los casos se almacena en un acumulador. Según se vaya necesitando, la energía pasa desde el acumulador al circuito de consumo.

Todos los diseños tienen el objetivo común de convertir con el mayor rendimiento posible la radiación solar en calor, para después suministrar eficientemente éste al consumo. Los diseños de los captadores varían considerablemente en cuanto a calidad, rendimiento, construcción y coste.

Las características generales que debe reunir un captador solar térmico son:

- Resistente a las condiciones exteriores (ambientes marinos, polvo nieve, granizo, etc.).
- Resistencia a temperaturas altas y bajas.
- Estable y duradero.
- Fácil de montar.
- Eficiente conversión de energía.

Estas características son las que se exigen en las normativas vigentes y las correspondientes certificaciones exigidas en los programas de fomento.

Un captador solar térmico, está formado por los siguientes elementos que se observan en la **Figura 1.13. Elementos de un captador solar plano:**



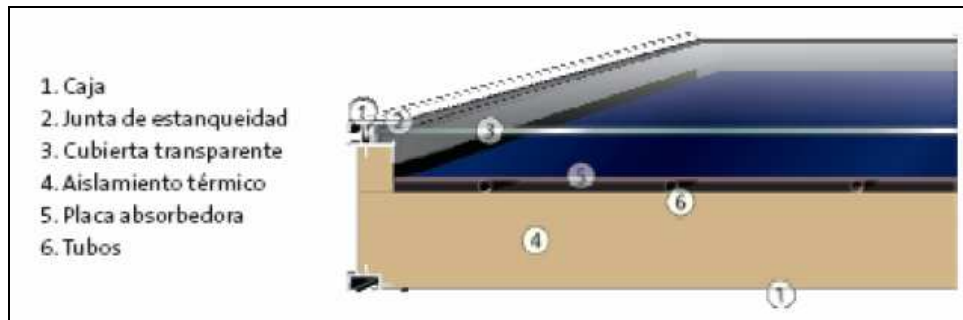


Figura 1.13. Elementos de un captador solar plano

Placa absorbedora:

Es la parte del dispositivo donde se produce la conversión de la radiación en energía interna del fluido en el interior de la placa absorbedora.

Normalmente construida de metal cubierta de pintura o tratamiento negro que tenga una alta absorptividad a la radiación solar. Mejor aún si tiene, al mismo tiempo, una baja emisividad en longitudes de onda larga. En este último caso es lo que se llama una superficie selectiva.

Cubierta transparente:

Es otro elemento de importancia en un captador solar térmico. Se encarga de producir el efecto invernadero sobre la placa absorbedora, dejando pasar en su mayor parte (alta transmitancia) la radiación solar incidente e impidiendo la salida (baja transmitancia) de la radiación infrarroja producida en la placa absorbedora.

Aislamiento térmico:

Sirve para disminuir las pérdidas térmicas por la cara posterior y los laterales del captador.



Carcasa:

Es la caja que contiene a todos los elementos del captador y sirve para protegerlo del exterior. Existe una gran variedad de tipos y materiales.

Junta de la cubierta transparente:

Es un material elástico cuya función principal es mantener la estanqueidad del captador impidiendo la entrada de agua cuando hay lluvia.



Figura 1.14. Captador solar plano



Figura 1.15. Captadores de tubo de vacío

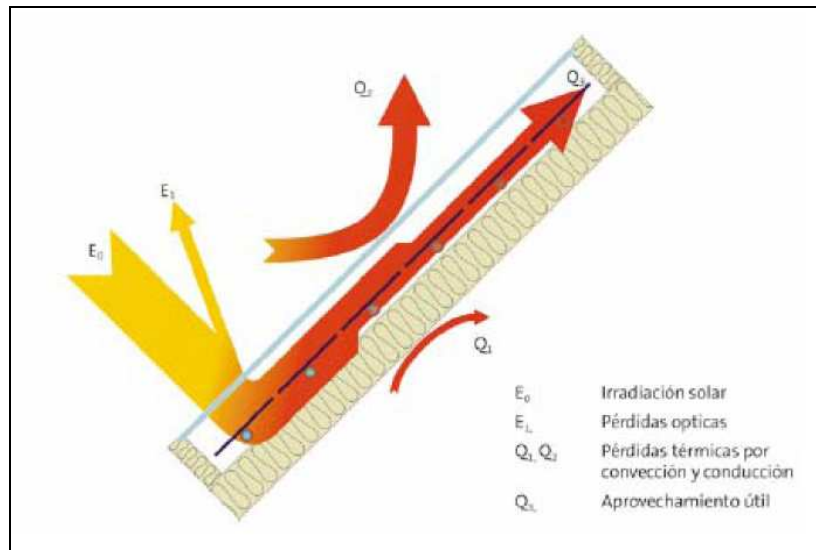


Figura 1.16. Fundamento de la captación solar térmica

1.3.1.2.2. INTERCAMBIADORES DE CALOR

Los intercambiadores de calor sirven para transferir la energía térmica entre diferentes fluidos, que se mantiene separados entre sí. Se utilizan en instalaciones donde se debe transferir el calor de la mezcla de agua y anticongelante del circuito primario al agua caliente sanitaria o al agua proveniente del acumulador de inercia. Deben cumplir los siguientes requisitos:

- Resistentes a los fluidos de trabajo utilizados.
- Compatibles con otros materiales presentes en el circuito.
- Resistentes a las temperaturas mínimas y máximas que se pueden generar en el sistema.
- Buenas propiedades de conductividad térmica y de transferencia de calor.
- Pequeña diferencia de temperatura a través de las paredes intercambiadores.



- Poca pérdida de carga.
- Se suelen instalar intercambiadores de acero inoxidable o de cobre.

A su vez, los intercambiadores de calor pueden ser interiores y exteriores. Los intercambiadores interiores, se encuentran dentro del depósito de acumulación en forma de serpentín. Se suelen utilizar para instalaciones pequeñas, hasta unos 10 m² de captadores. Los intercambiadores exteriores son usados para instalaciones mayores, donde la superficie de captación es superior a 10 m².

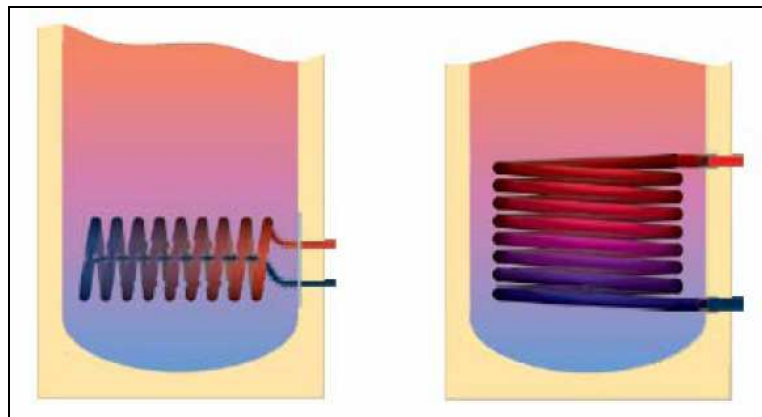


Figura 1.17. Intercambiador de calor interior

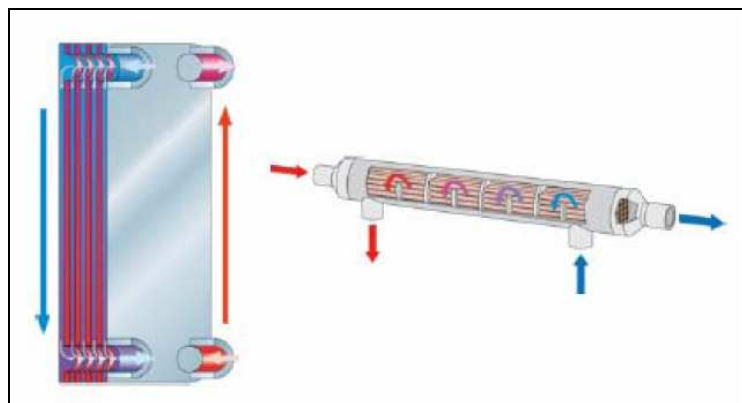


Figura 1.18. Intercambiador de calor exterior

Los hay de dos tipos, tubular y de placas.

Intercambiador tubular:

Tiene poca pérdida de carga pero tiene baja potencia específica de transmisión. Se suelen emplear en piscinas (**Figura 1.19. Intercambiador tubular**).



Figura 1.19. Intercambiador tubular

Intercambiador de placas:

Tienen una alta potencia específica de transmisión, un coste bajo y son de pequeño tamaño. Tienen una elevada pérdida de carga, teniendo posibilidades de ensuciamiento, que hace disminuir su efectividad (**Figura 1.20.**).



Figura 1.20. Intercambiador de placas

1.3.1.2.3. ACUMULADORES DE AGUA

Los acumuladores se encargan de almacenar la energía térmica generada por los captadores. Cumplen la función de volante de inercia, que permite independizar el suministro de calor solar del consumo, puesto que el perfil temporal de la entrada de energía no suele corresponderse con el consumo energético.

El periodo de tiempo de acumulación varía entre unas pocas horas, días o en caso de acumulador estacional, hasta meses. Depende de la aplicación y de la fracción solar deseada.



Figura 1.21. Acumuladores de agua

El objetivo que se persigue es acumular la energía solar disponible de la mejor forma durante períodos de escasa demanda, para después poder suministrar esa energía de la manera más eficaz cuando se necesite.



Los requisitos que se exigen de un acumulador son los siguientes:

- Alto calor específico del medio de acumulación.
- Pérdidas térmicas bajas.
- Buena estratificación de temperaturas en el acumulador.
- Larga durabilidad.
- Bajo costes y fácil disponibilidad del medio de acumulación.
- Adecuadas propiedades medioambientales.
- Debe ser capaz de soportar las presiones y temperaturas de trabajo previstas.

Debido a su alto calor específico, no ser contaminante para el medio ambiente y a su disponibilidad, se elige por regla general agua normal como medio de acumulación.

1.3.1.2.4. CIRCUITO HIDRÁULICO

El circuito hidráulico de una instalación solar está constituido por el conjunto de tuberías, bombas, válvulas y accesorios que se encargan de conectar los principales componentes de la instalación solar entre sí.

El circuito primario corresponde al formado por los captadores solares y las tuberías que los unen en el que el fluido de trabajo recoge la energía térmica en los captadores solares y la transfiere al acumulador directamente o a través de un intercambiador de calor.





TUBERÍAS

Para la selección del material utilizado en las tuberías se han de considerar los siguientes aspectos:

- Compatibilidad con el tipo de fluido empleado.
- Comportamiento dentro de los rangos de presiones.
- Temperaturas de trabajos.
- Resistencia frente a la corrosión.
- Estabilidad respecto a tensiones mecánicas y térmicas.
- Facilidad de instalación.
- Durabilidad.

Las tuberías que contienen agua caliente destinada a consumo humano han de ser de cobre, de acero inoxidable o de material plástica de calidad alimentaria. En caso de transportar otros fluidos utilizados en las instalaciones solares se emplea normalmente cobre, acero inoxidable o acero negro.

AISLAMIENTO

Las tuberías se han de aislar adecuadamente para reducir las pérdidas térmicas a través de las mismas. Entre las propiedades que se han de solicitar al material aislante seleccionado destacan:

- Bajo coeficiente de conductividad térmica.
- Adecuado comportamiento dentro del rango de temperaturas de trabajo y frente al fuego.



- Buena resistencia al envejecimiento, putrefacción y otros materiales.
- Estar constituido por materiales libres de elementos nocivos para el medioambiente.
- Facilidad de montaje.
- Bajo coste.

El material debe ser capaz de soportar temperaturas elevadas, especialmente en el circuito primario. En el caso de instalaciones en el exterior, también debe ser capaz de soportar la radiación ultravioleta, humedad y corrosión por agentes externos. Los materiales habitualmente empleados son las espumas elastoméricas, las cuales se emplean para el aislamiento de intercambiadores exterior.

BOMBA DE CIRCULACIÓN

Una bomba de circulación es el dispositivo electromecánico encargado de hacer circular el fluido de trabajo a través del circuito hidráulico. Es uno de los componentes principales del circuito hidráulico de una instalación solar de circulación forzada.



Figura 1.22. Bomba de circulación

Los parámetros fundamentales a considerar en el proceso de selección de la bomba a emplear en una instalación son el caudal de circulación y la diferencia de presiones que ha de superar.

VASO DE EXPANSIÓN

El vaso de expansión se utiliza para absorber las dilataciones y contracción que experimente el fluido contenido en un circuito cerrado con las variaciones de temperatura. Mediante la utilización de este elemento se evita la pérdida de fluido que tendría lugar al activarse la válvula de seguridad al alcanzarse presiones elevadas en el circuito durante los periodos de alta radiación solar. En este caso sería necesario rellenar el circuito para mantenerlo presurizado, aumentando de esta forma tanto el coste como la probabilidad de creación de bolsas de aire.

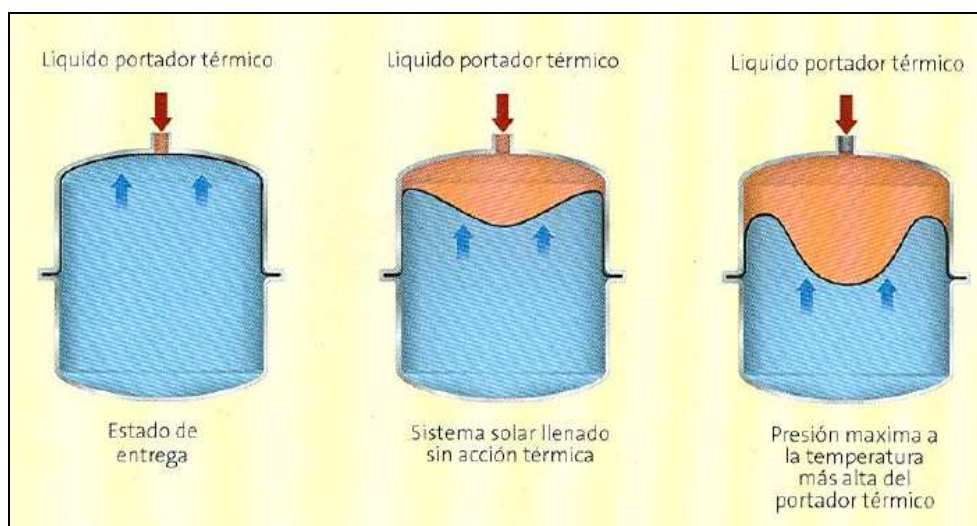


Figura 1.23. Vasos de expansión



Se diferencia entre vasos abiertos y cerrados atendiendo a que el fluido contenido en el circuito esté en comunicación directa con la atmósfera o no. En las instalaciones solares habitualmente se emplean vasos de expansión cerrados que consisten en depósitos metálicos divididos en el interior en dos partes a través de una membrana elástica impermeable. Cada una de las partes contiene un fluido diferente: aire o gas inerte a la presión de trabajo, situado por debajo de la membrana y el fluido de trabajo o líquido caloportador térmico, situado por encima de la membrana, que penetra en el vaso de expansión al aumentar su temperatura y presión.

SISTEMA DE PURGA, LLENADO Y VACIADO

Sistema de purga:

En una instalación solar es el dispositivo o conjunto de elementos que se encarga de extraer el aire contenido en el circuito solar tanto durante el proceso de llenado como durante el funcionamiento habitual de la instalación.

Los sistemas de purga deben ser resistentes a temperaturas elevadas ya que en los puntos más altos de la instalación pueden llegar a estar expuestos a temperaturas en torno a 150° C. también han de trabajar correctamente con fluidos anticongelantes recomendándose el empleo de componentes metálicos que se comporten adecuadamente y tengan mayor durabilidad. Se recomienda que los purgadores de aire sean los siguientes materiales:

- Cuerpo y tapa de fundición de hierro o de latón
- Mecanismo de acero inoxidable
- Flotador y asiento de acero inoxidable





- Obturador de goma sintética
- Los sistemas de purga pueden ser manuales o automáticos.

Sistema de llenado:

Cualquier circuito de una instalación ha de incorporar un sistema de llenado que permita la entrada del fluido de trabajo y mantener presurizado el circuito en caso de que se produzcan fugas de fluido. El sistema de llenado de una instalación puede ser manual o automático.

Para facilitar la salida al exterior del posible aire acumulado se recomienda realizar el llenado del circuito por la parte inferior del mismo.

Sistema de vaciado:

Para facilitar el vaciado total o parcial de una instalación solar normalmente se instalan en los puntos más bajos tuberías de drenaje a través de las cuales se puede realizar el vaciado mediante la apretura de una válvula de corte colocada en esta tubería.



1.3.1.3. CONFIGURACIONES DE INSTALACIONES SOLARES DE A.C.S.

El esquema de una instalación solar de A.C.S. viene definidas en principio por el tipo de edificio, el uso del mismo y sus características constructivas.

1.3.1.3.1. SISTEMAS POR TERMOSIFÓN

En los sistemas por termosifón la circulación en el circuito primario solar se efectúa por convección natural, debido a las diferencias de densidad entre el fluido de trabajo caliente y el frío. El fluido en el captador asciende a medida que se calienta a consecuencia de la radiación solar. Al alcanzar el acumulador colocado por encima del captador, transfiere su calor y vuelve enfriado hace el captador, tras descender por las tuberías de retorno. Funcionan sin bombas o controles. Por ello, requieren un diseño y montaje muy cuidadoso que minimice las pérdidas de carga.

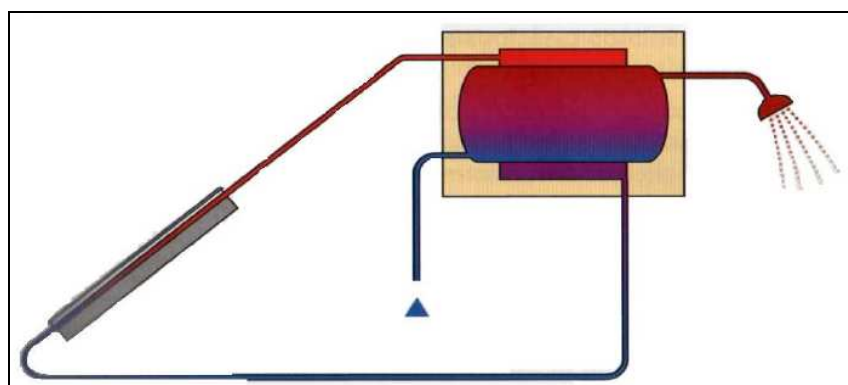


Figura 1.24. Sistema Termosifón

Este sencillo principio es el más apropiado para utilizar en países situados en zonas climáticas cálidas. El acumulador suele situarse en el exterior, pudiendo tomar varias posibles emplazamientos.

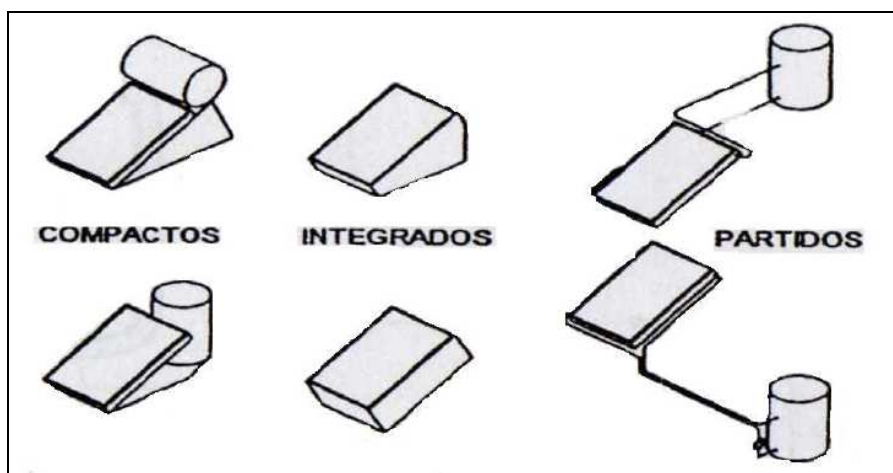


Figura 1.25. Situación de los captadores/depósitos

Hay que distinguir entre sistemas directos, en los que el agua sanitaria circula directamente a través del captador y los sistemas indirectos con un circuito primario cerrado.

Se tratan de sistemas prefabricados que suelen suministrar en una unidad completa que consta de uno o dos captadores, un acumulador y los accesorios correspondientes, con lo cual tienen un coste menor que otros equipos. Ellos directamente se regulan, en función de la radiación incidente. No se permite controlar la temperatura máxima en captadores. Debido que durante la noche, las temperaturas bajan, puede llegar a producirse un flujo invertido, teniendo que colocar válvulas antirretorno que lo impidan, a pesar de introducir pérdidas de carga.

Los sistemas por termosifón se utilizan sobre todo en instalaciones solares pequeñas.



1.3.1.3.2. INSTALACIÓN DE A.C.S. DE CIRCULACIÓN FORZADA

En los sistemas de circulación forzada, existe una bomba que impulsa el agua a través de los captadores. Las bombas se activan en función de la temperatura que dispongamos en los acumuladores, con lo cual estos sistemas llevan un sistema de regulación, que hace que tengamos un control preciso del sistema. En función de la temperatura del depósito y de los captadores, el sistema de bombas entrará en funcionamiento. Al tener una bomba, se impide que se produzca flujo invertido. Debido a que no es necesario tener ubicados los acumuladores muy próximos a los captadores, se tiene una mejor integración arquitectónica del sistema. Por el contrario, este tipo de instalaciones tiene un mayor coste de montaje, funcionamiento y de mantenimiento. Se distinguen diferentes configuraciones, en función del tamaño de la instalación.

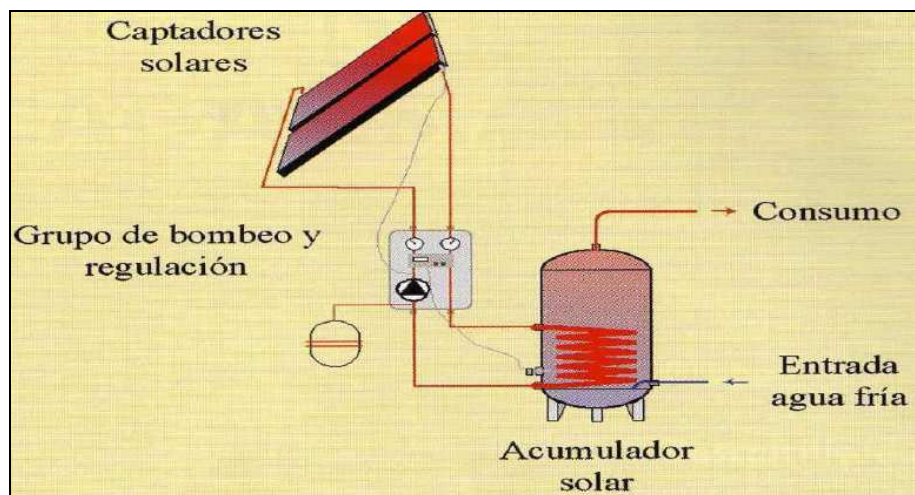


Figura 1.26. Instalación de A.C.S. de circulación forzada



1.3.1.3.3. INSTALACIÓN DE A.C.S. PEQUEÑAS DE CIRCULACIÓN FORZADA

Se consideran instalaciones pequeñas, aquellas que dan cabida a una o dos casas, con un área de captación de hasta aproximadamente 10 m^2 y un volumen máximo de acumulador de 400 litros.

1.3.1.3.4. INSTALACIÓN DE A.C.S. MEDIANAS Y GRANDES DE CIRCULACIÓN FORZADA

Las instalaciones provistas de un campo de captadores de más de 10 m^2 y hasta 50 m^2 se definen como instalaciones solares medianas. Suelen montarse en edificios residenciales plurifamiliares, así como otros edificios del sector terciario, donde el consumo diario supera los 500 litros. Los sistemas donde su área de captación es superior a 50 m^2 , se consideran instalaciones grandes.

En estos sistemas, se separa el acumulador solar del acumulador del sistema de calentamiento convencional. A medida que aumenta el tamaño del sistema, el sistema de intercambio de calor interno, se reemplaza por los intercambiadores externos. El acumulador del sistema convencional se coloca detrás del acumulador solar, con lo cual se puede seguir utilizando sin ningún modificación alguna.

En el caso de que la el calor producido por el sistema solar no sea suficiente, se efectúa un calentamiento por medio del sistema convencional, debiéndose tener en cuenta la mayor longitud de tuberías necesarias hasta la sala donde se encuentre ubicado el sistema de producción de energía térmica convencional.



1.3.1.3.5. INSTALACIONES DE A.C.S. CON ACUMULADORES DE INERCIA

Este tipo de configuraciones se instala cuando se ha de limitar el volumen de agua sanitaria y se ha de reducir el uso de energía convencional para la desinfección térmica. Los acumuladores de inercia se llenan normalmente de agua de calefacción.

En los sistemas con acumulador de inercia, el calor obtenido en los captadores se transfiere primero hacia el mismo a través del intercambiador de calor del circuito primario, el llamado intercambiador de carga. Posteriormente, la energía se transfiere al agua sanitaria a través de un segundo intercambiador, denominado de descarga, hacia el consumo.

Para el conexionado del acumulador de inercia con el sistema de agua caliente, existen varias posibilidades de descarga.

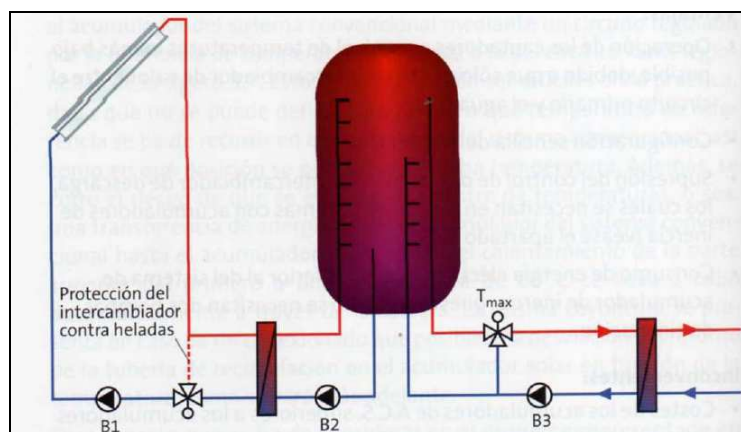


Figura 1.27. Sistema con acumulador de inercia (sin sistema convencional)

1.3.1.3.6. A.C.S. CENTRALIZADO

En esta configuración, existe un campo solar, que calienta el fluido caloportador. Posteriormente se transfiere la energía a un acumulador central mediante los intercambiadores, externos o internos. Desde este depósito central se distribuye a cada una de las viviendas mediante una red de distribución que se encuentra circulando permanentemente en circuito de recirculación, a fin de lograr que la temperatura disponible a la entrada de cada vivienda sea la máxima posible.

En cada una de las viviendas, se dispone de un sistema convencional para suplir la energía que no sea capaz de suministrar el sistema solar debido a poca incidencia solar.

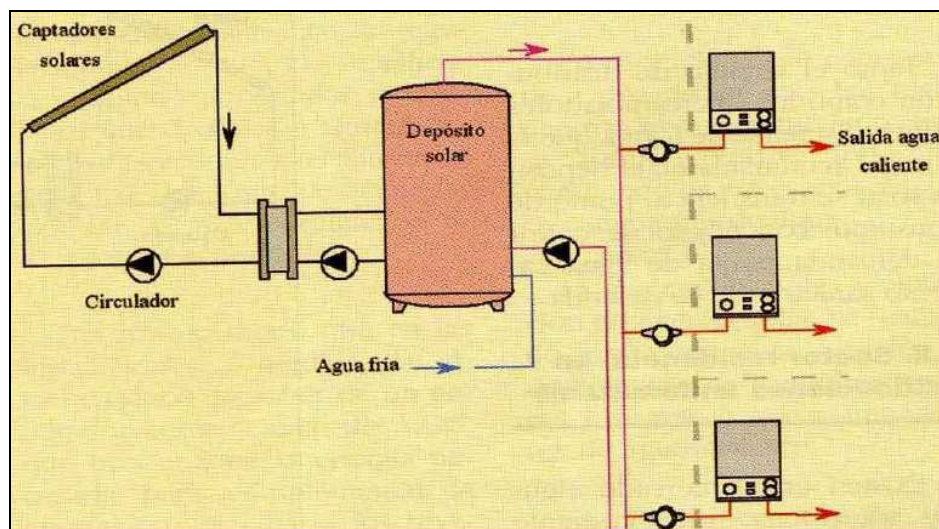


Figura 1.28. Sistema Centralizado con apoyo individual

1.3.1.3.7. ACUMULADOR SOLAR CENTRALIZADO E INTERCAMBIADOR DE CALOR EN CADA VIVIENDA

En este tipo de configuración, se dispone de un campo solar, donde un fluido caloportador transfiere la energía captada a un acumulador central mediante un intercambiador central. Desde este acumulador, se distribuye una red de distribución que lleva a cada una de las viviendas, donde encontramos en cada una de estas un intercambiador, donde es transferida la energía a cada una de las viviendas, donde es almacenado en un depósito individual. La red de distribución está en continuo recirculación, para mantener la red a la temperatura máxima posible.

Al realizarse el diseño del circuito de distribución se ha de tener en cuenta los coeficientes de simultaneidad de los consumos en las viviendas.

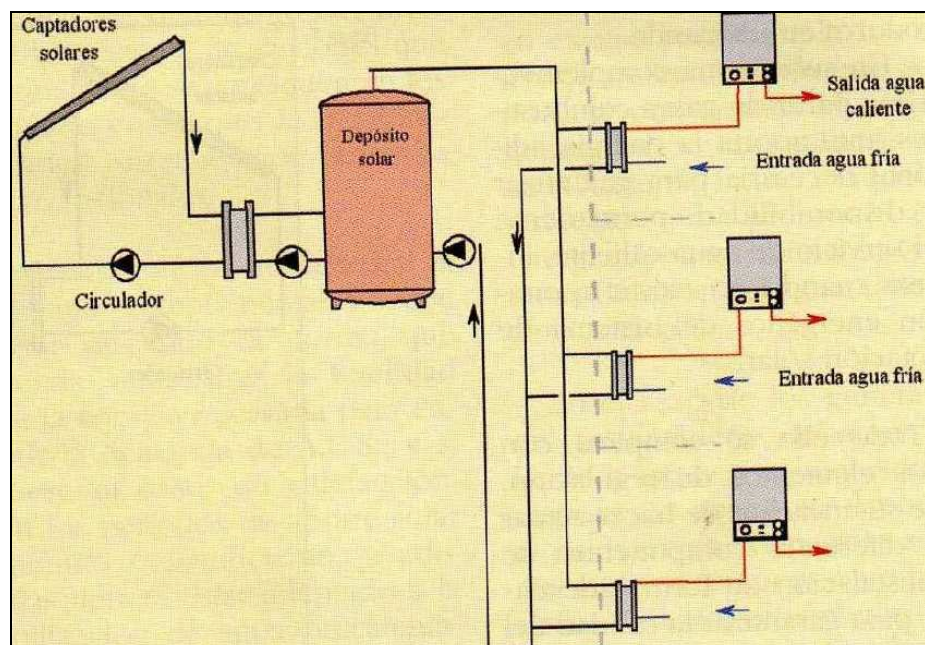


Figura 1.29. Sistema Solar con acumulador central e intercambiador individual en cada vivienda



Por otro lado, este sistema es más costoso, debido a que en cada una de las viviendas se ha de colocar un intercambiador, teniendo bastante importancia el diseño de estos para que cumpla con los requisitos.

1.3.1.3.8. CONFIGURACIÓN CON ACUMULADOR INDIVIDUAL EN CADA VIVIENDA

La variante consiste en disponer de un acumulador individual en cada vivienda. Este tipo de configuración se elige cuando se presentan problemas de espacio para ubicar un acumulador central o cuando se entienda que el usuario final va a valorar favorablemente el tener un acumulador en su propia vivienda.

El calor generado por el campo de captadores se transfiere mediante un intercambiador de placas al circuito de distribución, por el cual llega hasta los acumuladores de placas al circuito de distribución, por el cual llega hasta los acumuladores distribuidos.

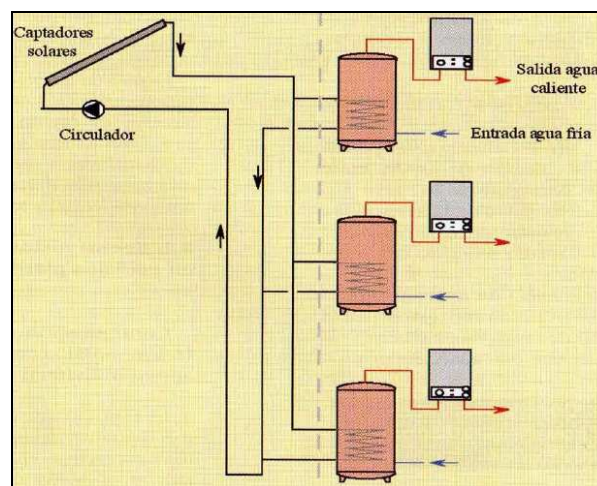


Figura 1.30. Configuración con acumuladores individuales en cada vivienda

Este tipo de configuración resulta algo más cara que las descritas anteriormente, debido a que en los acumuladores individuales, las pérdidas resultan más elevadas, lo que hay que tomar en consideración.

1.3.1.4. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN A INSTALAR

Se instalará un sistema de circulación forzada, situando los captadores en el tejado de la vivienda y el sistema de acumulación y de bombeo en la planta sótano. Se instalará una caldera como sistema auxiliar para los días en que la radiación solar no sea suficiente para abastecer las necesidades de la vivienda.

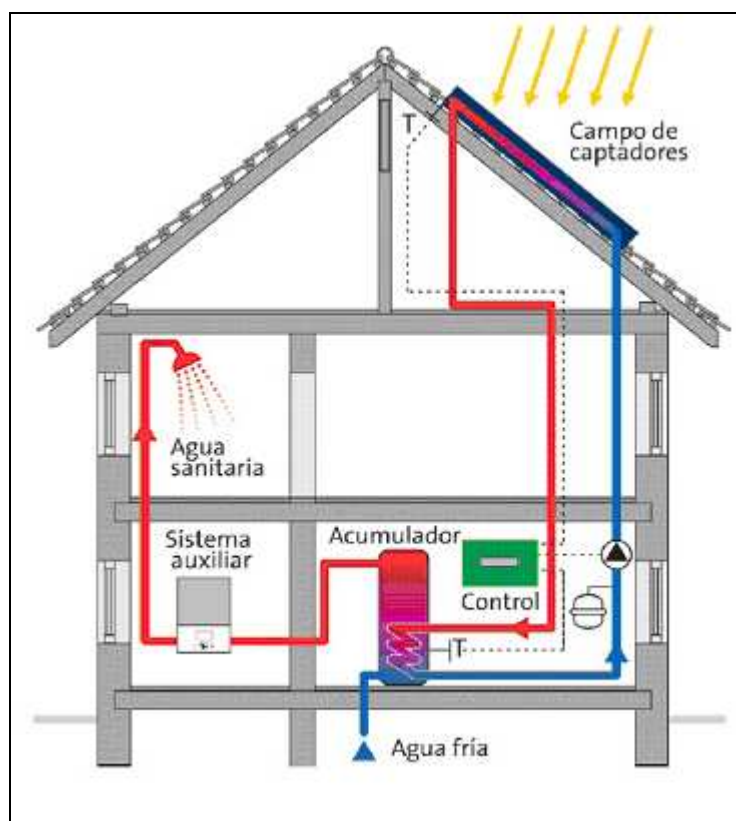


Figura1.31. Esquema del sistema a instalar



1.3.2. MÉTODOS DE CÁLCULO

1.3.2.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una gran variedad de programas comerciales de simulación que permiten dimensionar instalaciones solares. La gran mayoría de los programas de cálculos no requieren un gran conocimiento de las instalaciones por parte del usuario y suelen aportar resultados adecuados para el nivel de detalle requerido y los datos de entrada aportados al programa. Cuando se necesitan resultados más aproximados completos se emplean programas de simulación detallados que normalmente requieren mayor cantidad de datos de entrada y un nivel notable de conocimientos técnicos por parte del usuario.

Existen múltiples programas utilizados para calcular y/o simular instalaciones solares térmicas. La mayoría de estos programas pueden utilizarse también para simular el comportamiento de instalaciones de calentamiento de piscinas, calefacción, refrigeración, etc. De acuerdo al tipo de cálculo que realizan se clasifican básicamente en *MÉTODOS DE CÁLCULOS SIMPLIFICADOS* y *PROGRAMAS DE SIMULACIÓN*.





Los programas de simulación a su vez, pueden ser de naturaleza modular si simulan componentes antes que sistemas. En los programas modulares se incorporan módulos que controlan la unión de los diferentes componentes así como el trasvase de información entre componentes. Son programas de uso muy flexible, ya que se pueden componer cualquier instalación siempre que se disponga del módulo correspondiente a cada uno de los componentes de la misma. La versatilidad del programa se consigue a costa de un mayor nivel de complejidad a la hora de definir los parámetros de entrada del sistema.

El modelo matemático empleado influye en la fiabilidad, flexibilidad, objeto de aplicación, esfuerzo computacional y tiempo de cálculo del programa. Al pasar de los métodos de cálculo simplificados a los programas de simulación aumentan todos los parámetros anteriores y dentro de estos últimos, al pasar de programas de simulación no modulares a modulares sucede lo mismo. Al mismo tiempo, a medida que un programa es más flexible también aumentan los requisitos solicitados al usuario.

1.3.2.2. DIMENSIONADO BÁSICO

El dimensionado básico es un método manual de cálculo de la superficie colectora necesaria para una instalación, basado en la relación entre aportación solar y consumo.





Simplemente es necesario conocer el consumo total mensual del edificio de estudio en función de la ocupación, consumo y las temperaturas del agua de entrada y salida así como la aportación solar, estimando las pérdidas debidas a ubicación de la instalación, inclinación de los colectores y rendimiento de estos, etc.

Comparando ambos resultados se calcula el número de paneles necesarios y la superficie útil de los mismos y se recalcula la energía aprovechable. Con estos datos de partida se procede al dimensionado del resto de los elementos de la instalación.

1.3.2.3. MÉTODOS DE CÁLCULO SIMPLIFICADOS

Son programas simples que consideran condiciones estacionarias invariables y que se utilizan casi exclusivamente para producción de agua caliente sanitaria. Son de utilidad para determinar el comportamiento global de una instalación pero no para analizar el funcionamiento detallado de un determinado componente. A partir del captador solar, de la superficie de captación instalada, de la inclinación y orientación de los captadores, del volumen de acumulación solar y del consumo de agua caliente calculan las producciones energéticas de la instalación, expresando los resultados normalmente con valores diarios medios mensuales. No son de aplicación para estimar el comportamiento de una instalación bajo determinadas condiciones específicas y durante periodos de tiempo más pequeños. En general solamente pueden considerar algunas de las configuraciones de instalaciones solares térmicas utilizadas en la actualidad, de entre este tipo de programas destaca el método de cálculo f-Chart.





Método f-chart

Es un programa muy extendido y usado en instalaciones solares térmicas destinadas a la producción de agua caliente sanitaria y calefacción. Esta basado en correlaciones obtenidas de múltiples datos experimentales. Aporta normalmente resultados anuales bastantes adecuados. Este método proporciona como resultado final, el rendimiento del sistema térmico solar. De manera que a partir de él, puede estimarse la aportación de energía auxiliar necesaria y realizar el estudio económico de la instalación. Este programa se suele usar para aplicaciones residenciales donde las configuraciones utilizadas no tienen una gran complejidad.

La principal variable de diseño es el área del captador, siendo variables secundarias el tipo de captador, capacidad de almacenamiento, relación de caudales, etc. El método, es una correlación de los resultados de cientos de simulaciones de rendimiento térmico de sistemas solares, donde las condiciones de simulación fueron modificadas dentro de los rangos apropiados de diseño práctico. El resultado de la correlación será **f**, fracción de carga mensual suministrada por energía solar. Este factor se obtendrá como función de dos parámetros adimensionales. Uno relaciona las pérdidas del colector con la carga que debe combatir y el otro relaciona la energía absorbida con la carga a combatir.

El método de f-chart está basado en datos diarios mensuales; considera sistemas de calefacción y producción de A.C.S., donde la carga de A.C.S. es inferior al 20 % de la carga de calefacción. El método se desarrolla para un sistema base de energía solar, sin intercambiador de calor en el circuito de captación y con una capacidad de acumulación de 75 l/m^2 de superficie de captación.





1.3.2.4. PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

Las simulaciones son experimentos numéricos y pueden facilitar los mismos resultados que los experimentos físicos. Existen las ventajas de la rapidez de cálculo y el menor costo, suministrando suficiente información para analizar el efecto de las variables en el diseño de sistemas solares.

Los sistemas solares se caracterizan por la transitoriedad de algunos fenómenos físicos determinantes, como son la radiación solar, la temperatura o el consumo. Debido a esto, un cálculo que no contemple la influencia recíproca de la variabilidad de cada una de éstas sobre el funcionamiento del sistema, generará siempre un error. La simulación dinámica contempla esta fenomenología.

Se distingue entre programas no modulares (TRANSOL) y modulares (TRNSYS). En ambos casos se simula el comportamiento de una instalación a partir de los modelos matemáticos establecidos para cada componente. Estos programas permiten realizar evaluaciones en diferentes periodos de tiempo mediante la resolución de las ecuaciones características de los distintos componentes de una instalación solar. Algunos programas disponen de displays que permiten visualizar valores en un determinado instante.

Los programas no modulares disponen de una librería que contiene configuraciones predeterminadas de instalaciones solares térmicas para que el usuario pueda seleccionar la configuración que mejor se adapte a cada caso e





introducir los parámetros requeridos. Salvo excepciones no se pudo variar la configuración de la instalación ni ampliar la librería disponible con nuevas configuraciones. Estos programas son de fácil manejo para usuarios y se caracterizan por una adecuada presentación.

Los programas modulares permiten realizar análisis dinámicos y simular prácticamente cualquier tipo de configuración y condiciones de operación. Normalmente no son de fácil utilización, necesitando el usuario periodos de adaptación medios o largos para trabajar correctamente con este tipo de programas. Estos programas de simulación, son herramientas poderosas para el diseño de nuevos procesos, cálculo del funcionamiento de éstos y posibles mejoras de los sistemas. Sin embargo hay limitaciones a la hora de simular algunos de los sistemas estudiados.

Hay que tener en cuenta, que los sistemas simulados están basados en suposiciones, que han de estar bien formuladas. Es fácil, que se cometan errores en la programación, tomar constantes erróneas, descuidar factores que podrían tener mayor importancia, etc.

En las simulaciones, se pueden extraer ciertas partes de una instalación, para ver su evolución al ir modificando los parámetros de diseño o al ir modificando sus componentes. En la práctica, este tipo de acciones, es muy difícil llevarlo a cabo, tanto en la realidad como con programas de cálculo simplificado. Los programas de simulación, requieren una preparación y conocimiento en la materia, que no son necesarios en los métodos de cálculo simplificado.





1.3.3. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

1.3.3.1. CÁLCULO DE NECESIDADES

1.3.3.1.1. CRITERIO DE CÁLCULO

El criterio a seguir para el dimensionado de la superficie colectora es que el área de la misma sea tal que haga que la aportación solar total en el periodo que la instalación esté activa sea igual al consumo.

1.3.3.1.2. CÁLCULO DE NECESIDADES

La demanda energética en instalaciones de ACS en una vivienda unifamiliar viene determinada por el volumen de consumo diario y las temperaturas de uso y de agua fría de red.

En instalaciones ya existentes se puede partir de los datos de consumos medios en años anteriores, si se disponen de ellos, o bien basándose en tablas.

Como en nuestro caso no se poseen datos de los consumos de años anteriores por ser una vivienda de nueva construcción, basaremos el estudio en datos obtenidos de las tablas.



Datos básicos de partida:

A continuación se muestran todos los parámetros funcionales de la instalación necesarios para el dimensionamiento de la misma:

Localidad: Larraul. **Provincia:** Guipúzcoa.

PROVINCIA	ALTITUD (m) (de la capital)	LATITUD (°) (de la capital)	LONGITUD (°) (de la capital)	TEMP. MÍNIMA HISTÓRICA (°C)
1 ÁLAVA	542	42,9	2,7 W	-18
2 ALBACETE	686	39,0	1,8 W	-23
3 ALICANTE	7	38,4	0,5 W	-5
4 ALMERÍA	65	36,9	2,4 W	-1
5 ASTURIAS	232	43,4	5,8 W	-11
6 ÁVILA	1126	40,7	4,9 W	-21
7 BADAJOZ	186	38,9	7,0 W	-6
8 BALEARES	28	39,6	2,6 E	-4
9 BARCELONA	95	41,4	2,2 E	-7
10 BURGOS	929	42,3	3,7 W	-18
11 CÁCERES	459	39,5	6,4 W	-6
12 CÁDIZ	28	36,5	6,3 W	-2
13 CANTABRIA	69	43,5	3,8 W	-4
14 CASTELLÓN	27	40,0	0	-8
15 CEUTA	206	35,9	5,3 W	-1
16 CIUDAD REAL	628	39,0	3,9 W	-10
17 CÓRDOBA	128	37,9	4,8 W	-6
18 LA CORUÑA	54	43,4	8,4 W	-9
19 CUENCA	949	40,1	2,1 W	-21
20 GERONA	95	42,0	2,7 E	-11
21 GRANADA	775	37,2	3,7 W	-13
22 GUADALAJARA	685	40,6	3,2 W	-14
23 GUIPÚZCOA	181	43,3	2,0 W	-12
24 HUELVA	4	37,3	6,9 W	-6
25 HUESCA	488	42,1	0,4 W	-14
26 JAÉN	586	37,8	3,8 W	-8
27 LEÓN	908	42,6	5,6 W	-18
28 LÉRIDA	323	41,7	1,2 E	-11
29 LUGO	465	43,0	7,6 W	-8
30 MADRID	667	40,4	3,7 W	-16
31 MÁLAGA	40	36,7	4,4 W	-4
32 MELILLA	47	35,3	3,0 W	-1
33 MURCIA	42	38,0	1,1 W	-5
34 NAVARRA	449	42,8	1,6 W	-16
35 ORENSE	139	42,3	7,8 W	-8
36 PALENCIA	734	42,0	4,5 W	-14
37 LAS PALMAS	6	28,2	15,4 W	+6
38 PONTEVEDRA	19	42,4	8,6 W	-4
39 LA RIOJA	380	42,5	2,4 W	-12
40 SALAMANCA	803	41,0	5,6 W	-16
41 STA. CRUZ DE TENERIFE	37	28,5	16,2 W	+3
42 SEGOVIA	1002	41,0	4,1 W	-17
43 SEVILLA	30	37,4	6,0 W	-6
44 SORIA	1063	41,8	2,5 W	-16
45 TARRAGONA	60	41,1	1,2 E	-7
46 TERUEL	915	40,4	1,1 W	-14
47 TOLEDO	540	39,9	4,0 W	-9
48 VALENCIA	10	39,5	0,4 W	-8
49 VALLADOLID	694	41,7	4,7 W	-16
50 VIZCAYA	32	43,3	3,0 W	-8
51 ZAMORA	649	41,5	5,7 W	-14
52 ZARAGOZA	200	41,7	0,9 W	-11

Tabla 1.32. Altitud, latitud, longitud y temperatura mínima histórica por provincias





Altitud: 300 metros sobre el nivel del mar. No se ha tomado el dato de altitud de la tabla debido a que esta refleja la altitud de la capital sobre el nivel del mar, y debido a ser una zona montañosa, no coincide con la altitud real de la ubicación de la vivienda.

Tª mínima histórica registrada: -12 °C

Tª acumulación ACS: 45 °C

<i>Criterio de consumo</i>	<i>Litros/día</i>	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hoteles (4 estrellas)	70	por cama
Hoteles (3 estrellas)	55	por cama
Hoteles/Hostales (2 estrellas)	40	por cama
Campings	40	por emplazamiento
Hostales/Pensiones (1 estrella)	35	por cama
Residencias (ancianos, estudiantes, etc.)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Oficinas	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Tabla 1.33. Consumo estimado diario por persona/día (según tabla del IDAE)

En esta tabla se ha considerado una temperatura de uso de 60°C, pero como la instalación que se ha de diseñar tendrá una temperatura final de 45°C se debe variar el dato obtenido de la tabla de la siguiente manera tal y como se indica en el pliego de condiciones del IDAE: “los valores expresados en la tabla pueden ser fácilmente modificados sin más que multiplicarlos por el factor (60 –



$t^f)/(t^o - t^f)$, siendo t^o la nueva temperatura de referencia escogida y t^f la temperatura del agua fría (temperatura de red) de la localidad"

Para la instalación del estudio se observa la temperatura media del agua de la red general, según tablas del IDAE, y se calcula, a partir de dichos datos, el consumo estimado por persona/día:

Nota: También se podrán tomar en consideración los valores indicados en la norma UNE 94002.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
2 ALBACETE	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
3 ALICANTE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
4 ALMERÍA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
5 ASTURIAS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
6 ÁVILA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
7 BADAJOZ	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
8 BALEARES	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
9 BARCELONA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
10 BURGOS	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
11 CÁCERES	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
12 CÁDIZ	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
13 CANTABRIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
14 CASTELLÓN	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
15 CEUTA	8	9	10	12	13	13	14	13	13	12	11	8	11,3
16 CIUDAD REAL	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
17 CÓRDOBA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
18 LA CORUÑA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
19 CUENCA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
20 GERONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
21 GRANADA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
22 GUADALAJARA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
23 GUIPÚZCOA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
24 HUELVA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
25 HUESCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
26 JAÉN	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7	12,3
27 LEÓN	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
28 LÉRIDA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
29 LUGO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
30 MADRID	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
31 MÁLAGA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
32 MELILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
33 MURCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
34 NAVARRA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
35 ORENSE	5	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,2
36 PALENCIA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
37 LAS PALMAS	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
38 PONTEVEDRA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
39 LA RIOJA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
40 SALAMANCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
41 STA. C. DE TENERIFE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
42 SEGOVIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
43 SEVILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
44 SORIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
45 TARRAGONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
46 TERUEL	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
47 TOLEDO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
48 VALENCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
49 VALLADOLID	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
50 VIZCAYA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
51 ZAMORA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
52 ZARAGOZA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3

Tabla 1.34. Temperatura mínima media del agua de la red general, en °C, obtenida a través de medidas directas. Los datos han sido agrupados en seis perfiles característicos (CENSOLAR)



Como la temperatura del agua fría de red varía según el mes, se calcula el consumo para cada mes y se realiza el promedio de los datos mensuales obtenidos.

MES	TEMPERATURA AGUA DE RED (Ta)	TEMPERATURA CONSUMO (Tc)	SALTO TÉRMICO (Tc-Ta)	CONSUMO: $30 \cdot (60 - T_a) / (T_c - T_a)$
ENERO	8,00	45,00	37,00	42,16
FEBRERO	9,00	45,00	36,00	42,50
MARZO	11,00	45,00	34,00	43,24
ABRIL	13,00	45,00	32,00	44,06
MAYO	14,00	45,00	31,00	44,52
JUNIO	15,00	45,00	30,00	45,00
JULIO	16,00	45,00	29,00	45,52
AGOSTO	15,00	45,00	30,00	45,00
SEPTIEMBRE	14,00	45,00	31,00	44,52
OCTUBRE	13,00	45,00	32,00	44,06
NOVIEMBRE	11,00	45,00	34,00	43,24
DICIEMBRE	8,00	45,00	37,00	42,16
PROMEDIO	12,25	45,00	32,75	43,83

Tabla 1.35. Consumo diario por meses

Se observa que se obtiene un consumo de 43,83 litros por persona/día. Para el cálculo se estimará un consumo de **45 litros por persona/día** con el fin de simplificar los cálculos.

Partiendo de estos datos se crea una tabla, denominada hoja de cálculo de las cargas térmicas, para calcular las necesidades mensuales a cubrir por el proyecto. Dicha tabla contendrá las siguientes columnas:

1: DÍAS MES:

2: % DE OCUPACIÓN ESTIMADA: Se estima una ocupación del **100%** para todos los meses del año ya que se trata de una vivienda de residencia habitual.



3: Nº DE PERSONAS QUE SE ESTIMA OCUPARÁN LA VIVIENDA: Por ser una vivienda unifamiliar de 3 dormitorios, se estima una ocupación de **4 personas** tal y como se estipula en la tabla siguiente:

Nº de dormitorios	Nº de personas
1	1,5
2	3
3	4
4	6
5	7
6	8
7	9
8	9
Más de 8	Igual que el número de dormitorios

Tabla 1.36. Número de personas según dormitorios

4: CONSUMO ESTIMADO (litros x persona/día): Tal y como se ha calculado anteriormente, se establece un consumo de **45 litros x persona/día**.

5: CONSUMO MENSUAL (litros): El consumo mensual se calcula multiplicando el número de días del mes a calcular por la ocupación estimada ese mes y por el consumo estimado por persona y día.

6: CONSUMO MENSUAL (m3): 5/1000 El consumo mensual en m3 se obtiene dividiendo la columna anterior (consumo mensual en litros) entre 1000 ya que 1litro = 1dm3 = 1/1000 m3.

7: TEMPERATURA AGUA DE RED: La temperatura de agua fría de red mes a mes se obtiene de la tabla del IDAE para la provincia de Guipúzcoa, tal y como se ha establecido anteriormente.

8: TEMPERATURA AGUA DE CONSUMO: Por tratarse de una instalación de ACS se establece una temperatura media de agua de consumo de **45°C**.



9: SALTO TÉRMICO: El salto térmico corresponde a la diferencia de temperaturas entre el agua de consumo y el agua fría de red.

10: NECESIDADES MENSUALES (TERMIAS): Las necesidades mensuales se calculan fácilmente mediante la fórmula del calor: $Q=m \cdot C_e \cdot \Delta t$, por ser el calor específico del agua 1 termia/Tonelada $\cdot ^\circ\text{C}$ o lo que es lo mismo 1 Kcal /kg $\cdot ^\circ\text{C}$, la fórmula se simplifica al producto del consumo mensual en m³ y el salto térmico.

(Recordamos que 1m³= 1000dm³=1000litros=1000kg=1tonelada)

11: NECESIDADES MENSUALES (MJ): Para calcular las necesidades mensuales en mega julios únicamente habrá que multiplicar la columna anterior por 4,184, ya que 1 MJ = 4,184 termias.

(1 Te = 1.000 Kcal = 4.186 Kj = 4,19 MJ)

12: NECESIDADES DÍA (MJ): Las necesidades diarias se calcularán fácilmente dividiendo las necesidades mensuales entre los días del mes a calcular.

	1	2	3	4	5	6
MES	DÍAS MES	% OCUPACIÓN	Nº PERSONAS	CONSUMO (litros/persona/día)	CONSUMO MENSUAL (litros)	CONSUMO MENSUAL (m3)
ENERO	31	100	4	45	5580	5,58
FEBRERO	28	100	4	45	5040	5,04
MARZO	31	100	4	45	5580	5,58
ABRIL	30	100	4	45	5400	5,40
MAYO	31	100	4	45	5580	5,58
JUNIO	30	100	4	45	5400	5,40
JULIO	31	100	4	45	5580	5,58
AGOSTO	31	100	4	45	5580	5,58
SEPTIEMBRE	30	100	4	45	5400	5,40
OCTUBRE	31	100	4	45	5580	5,58
NOVIEMBRE	30	100	4	45	5400	5,40
DICIEMBRE	31	100	4	45	5580	5,58
TOTAL						

Tabla 1.37.A

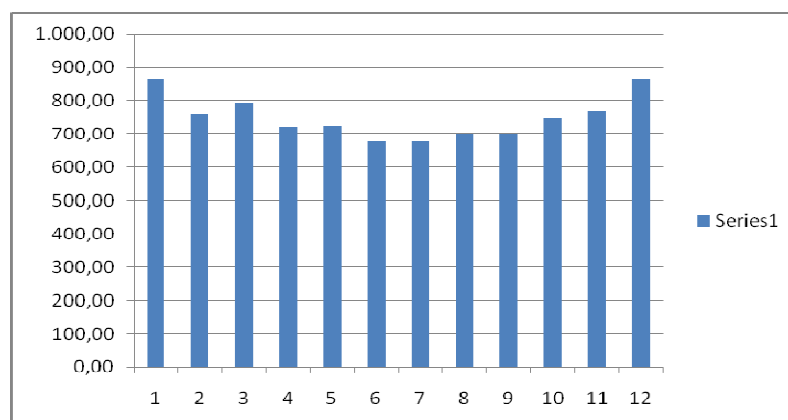


	7	8	9	10	11	12
MES	TEMPERATURA AGUA DE RED (°C)	TEMPERATURA CONSUMO (°C)	SALTO TÉRMICO	NECESIDADES MES (termias)	NECESIDADES MES (MJ)	NECESIDADES DÍA (MJ)
ENERO	8	45	37	206,46	863,83	27,87
FEBRERO	9	45	36	181,44	759,14	27,11
MARZO	11	45	34	189,72	793,79	25,61
ABRIL	13	45	32	172,80	723,00	24,10
MAYO	14	45	31	172,98	723,75	23,35
JUNIO	15	45	30	162,00	677,81	22,59
JULIO	16	45	29	161,82	677,05	21,84
AGOSTO	15	45	30	167,40	700,40	22,59
SEPTIEMBRE	14	45	31	167,40	700,40	23,35
OCTUBRE	13	45	32	178,56	747,10	24,10
NOVIEMBRE	11	45	34	183,60	768,18	25,61
DICIEMBRE	8	45	37	206,46	863,83	27,87
TOTAL				2.150,64	8.998,28	

Tabla 1.37.B

1.3.3.1.3. DATOS OBTENIDOS

Los datos mensuales obtenidos se representan gráficamente, en la **Gráfica 1.38. Diagrama de necesidades**. Una vez calculada la aportación solar se realizará un "diagrama de aportación energética" y se procederá a compararlos.



Gráfica 1.38. Diagrama de necesidades



1.3.3.2. CÁLCULO DE LA APORTACIÓN SOLAR

1.3.3.2.1. CRITERIO DE CÁLCULO

Tras obtener las necesidades mensuales y totales para la instalación se procede al cálculo de la energía disponible según datos de la ubicación de la instalación y la radiación solar de la zona.

Se comienza estableciendo la energía neta que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes, para después corregirla en función de la inclinación, las condiciones ambientales del lugar, etc.

1.3.3.2.2. CÁLCULO DE LA APORTACIÓN SOLAR

Para esto se crea una nueva tabla, en la que se detallan datos por meses con el fin de calcular la energía que se podrá obtener con la instalación que se diseña.

1: *H (energía neta disponible en MJ)*

La siguiente tabla resume la irradiación horizontal H en un día medio de cada mes sobre la superficie horizontal en la provincia que se considere.



Nota: También se podrán tomar en consideración los valores indicados en la norma UNE 94003.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	4,6	6,9	11,2	13	14,8	16,6	18,1	17,3	14,3	9,5	5,5	4,1	11,3
2 ALBACETE	6,7	10,5	15	19,2	21,2	25,1	26,7	23,2	18,8	12,4	8,4	6,4	16,1
3 ALICANTE	8,5	12	16,3	18,9	23,1	24,8	25,8	22,5	18,3	13,6	9,8	7,6	16,8
4 ALMERÍA	8,9	12,2	16,4	19,6	23,1	24,6	25,3	22,5	18,5	13,9	10	8	16,9
5 ASTURIAS	5,3	7,7	10,6	12,2	15	15,2	16,8	14,8	12,4	9,8	5,9	4,6	10,9
6 ÁVILA	6	9,1	13,5	17,7	19,4	22,3	26,3	25,3	18,8	11,2	6,9	5,2	15,1
7 BADAJOZ	6,5	10	13,6	18,7	21,8	24,6	25,9	23,8	17,9	12,3	8,2	6,2	15,8
8 BALEARES	7,2	10,7	14,4	16,2	21	22,7	24,2	20,6	16,4	12,1	8,5	6,5	15
9 BARCELONA	6,5	9,5	12,9	16,1	18,6	20,3	21,6	18,1	14,6	10,8	7,2	5,8	13,5
10 BURGOS	5,1	7,9	12,4	16	18,7	21,5	23	20,7	16,7	10,1	6,5	4,5	13,6
11 CÁCERES	6,8	10	14,7	19,6	22,1	25,1	28,1	25,4	19,7	12,7	8,9	6,6	16,6
12 CÁDIZ	8,1	11,5	15,7	18,5	22,2	23,8	25,9	23	18,1	14,2	10	7,4	16,5
13 CANTABRIA	5	7,4	11	13	16,1	17	18,4	15,5	13	9,5	5,8	4,5	11,3
14 CASTELLÓN	8	12,2	15,5	17,4	20,6	21,4	23,9	19,5	16,6	13,1	8,6	7,3	15,3
15 CEUTA	8,9	13,1	18,6	21	24,3	26,7	26,8	24,3	19,1	14,2	11	8,6	18,1
16 CIUDAD REAL	7	10,1	15	18,7	21,4	23,7	25,3	23,2	18,8	12,5	8,7	6,5	15,9
17 CÓRDOBA	7,2	10,1	15,1	18,5	21,8	25,9	28,5	25,1	19,9	12,6	8,6	6,9	16,7
18 LA CORUÑA	5,4	8	11,4	12,4	15,4	16,2	17,4	15,3	13,9	10,9	6,4	5,1	11,5
19 CUENCA	5,9	8,8	12,9	17,4	18,7	22	25,6	22,3	17,5	11,2	7,2	5,5	14,6
20 GERONA	7,1	10,5	14,2	15,9	18,7	19	22,3	18,5	14,9	11,7	7,8	6,6	13,9
21 GRANADA	7,8	10,8	15,2	18,5	21,9	24,8	26,7	23,6	18,8	12,9	9,6	7,1	16,5
22 GUADALAJARA	6,5	9,2	14	17,9	19,4	22,7	25	23,2	17,8	11,7	7,8	5,6	15,1
23 GUIPÚZCOA	5,5	7,7	11,3	11,7	14,6	16,2	16,1	13,6	12,7	10,3	6,2	5	10,9
24 HUELVA	7,6	11,3	16	19,5	24,1	25,6	28,7	25,6	21,2	14,5	9,2	7,5	17,6
25 HUESCA	6,1	9,6	14,3	18,7	20,3	22,1	23,1	20,9	16,9	11,3	7,2	5,1	14,6
26 JAÉN	6,7	10,1	14,4	18	20,3	24,4	26,7	24,1	19,2	11,9	8,1	6,5	15,9
27 LEÓN	5,8	8,7	13,8	17,2	19,5	22,1	24,2	20,9	17,2	10,4	7	4,8	14,3
28 LÉRIDA	6	9,9	18	18,8	20,9	22,6	23,8	21,3	16,8	12,1	7,2	4,8	15,2
29 LUGO	5,1	7,6	11,7	15,2	17,1	19,5	20,2	18,4	15	9,9	6,2	4,5	12,5
30 MADRID	6,7	10,6	13,6	18,8	20,9	23,5	26	23,1	16,9	11,4	7,5	5,9	15,4
31 MÁLAGA	8,3	12	15,5	18,5	23,2	24,5	26,5	23,2	19	13,6	9,3	8	16,8
32 MELILLA	9,4	12,6	17,2	20,3	23	24,8	24,8	22,6	18,3	14,2	10,9	8,7	17,2
33 MURCIA	10,1	14,8	16,6	20,4	24,2	25,6	27,7	23,5	18,6	13,9	9,8	8,1	17,8
34 NAVARRA	5	7,4	12,3	14,5	17,1	18,9	20,5	18,2	16,2	10,2	6	4,5	12,6
35 ORENSE	4,7	7,3	11,3	14	16,2	17,6	18,3	16,6	14,3	9,4	5,6	4,3	11,6
36 PALENCIA	5,3	9	13,2	17,5	19,7	21,8	24,1	21,6	17,1	10,9	6,6	4,6	14,3
37 LAS PALMAS	11,2	14,2	17,8	19,6	21,7	22,5	24,3	21,9	19,8	15,1	12,3	10,7	17,6
38 PONTEVEDRA	5,5	8,2	13	15,7	17,5	20,4	22	18,9	15,1	11,3	6,8	5,5	13,3
39 LA RIOJA	5,6	8,8	13,7	16,6	19,2	21,4	23,3	20,8	16,2	10,7	6,8	4,8	14
40 SALAMANCA	6,1	9,5	13,5	17,1	19,7	22,8	24,6	22,6	17,5	11,3	7,4	5,2	14,8
41 STA. C. DE TENERIFE	10,7	13,3	18,1	21,5	25,7	26,5	29,3	26,6	21,2	16,2	10,8	9,3	19,1
42 SEGOVIA	5,7	8,8	13,4	18,4	20,4	22,6	25,7	24,9	18,8	11,4	6,8	5,1	15,2
43 SEVILLA	7,3	10,9	14,4	19,2	22,4	24,3	24,9	23	17,9	12,3	8,8	6,9	16
44 SORIA	5,9	8,7	12,8	17,1	19,7	21,8	24,1	22,3	17,5	11,1	7,6	5,6	14,5
45 TARRAGONA	7,3	10,7	14,9	17,6	20,2	22,5	23,8	20,5	16,4	12,3	8,8	6,3	15,1
46 TERUEL	6,1	8,8	12,9	16,7	18,4	20,6	21,8	20,7	16,9	11	7,1	5,3	13,9
47 TOLEDO	6,2	9,5	14	19,3	21	24,4	27,2	24,5	18,1	11,9	7,6	5,6	15,8
48 VALENCIA	7,6	10,6	14,9	18,1	20,6	22,8	23,8	20,7	16,7	12	8,7	6,6	15,3
49 VALLADOLID	5,5	8,8	13,9	17,2	19,9	22,6	25,1	23	18,3	11,2	6,9	4,2	14,7
50 VIZCAYA	5	7,1	10,8	12,7	15,5	16,7	17,9	15,7	13,1	9,3	6	4,6	11,2
51 ZAMORA	5,4	8,9	13,2	17,3	22,2	21,6	23,5	22	17,2	11,1	6,7	4,6	14,5
52 ZARAGOZA	6,3	9,8	15,2	18,3	21,8	24,2	25,1	23,4	18,3	12,1	7,4	5,7	15,6

Tabla 1.39. Energía en mega julios que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes. (CENSOLAR)



2: H CORREGIDA

Debido a que la vivienda se ubica en una zona montañosa, lejos de grandes urbanizaciones y sin polución, con atmósfera muy limpia, se debe corregir la energía neta disponible aumentándola un 5%.

3: K (Factor de corrección debido a la inclinación)

Se debe corregir la energía disponible debido a la inclinación de los colectores mediante un factor de corrección K, que representa el cociente entre la energía incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el Ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal. Se tomará la tabla correspondiente a la latitud del lugar donde se encuentra la instalación (43°) y la inclinación del tejado de la vivienda, 30° , que será donde se ubiquen los colectores.

LATITUD = 43°												
Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,08	1,07	1,05	1,03	1,02	1,02	1,02	1,04	1,06	1,08	1,1	1,09
10	1,15	1,12	1,09	1,06	1,04	1,03	1,04	1,07	1,11	1,16	1,19	1,18
15	1,22	1,18	1,13	1,08	1,05	1,03	1,05	1,09	1,15	1,23	1,27	1,26
20	1,28	1,22	1,16	1,09	1,05	1,03	1,05	1,1	1,19	1,29	1,35	1,33
25	1,33	1,26	1,18	1,1	1,04	1,02	1,04	1,11	1,22	1,34	1,42	1,4
30	1,37	1,29	1,2	1,1	1,03	1	1,03	1,11	1,24	1,38	1,48	1,45
35	1,41	1,31	1,2	1,09	1,01	0,98	1,01	1,1	1,25	1,42	1,52	1,5
40	1,43	1,33	1,2	1,07	0,98	0,95	0,98	1,09	1,25	1,44	1,56	1,54
45	1,45	1,33	1,19	1,05	0,95	0,91	0,95	1,06	1,24	1,45	1,59	1,57
50	1,46	1,33	1,17	1,02	0,91	0,87	0,91	1,03	1,23	1,46	1,61	1,58
55	1,46	1,32	1,15	0,98	0,86	0,82	0,86	1	1,21	1,45	1,62	1,59
60	1,45	1,3	1,12	0,94	0,81	0,76	0,81	0,95	1,17	1,44	1,62	1,59
65	1,43	1,27	1,08	0,89	0,75	0,7	0,75	0,9	1,13	1,41	1,61	1,58
70	1,41	1,23	1,03	0,83	0,69	0,64	0,69	0,84	1,09	1,38	1,58	1,56
75	1,37	1,19	0,98	0,77	0,62	0,57	0,62	0,78	1,03	1,34	1,55	1,53
80	1,33	1,14	0,92	0,7	0,55	0,49	0,55	0,71	0,97	1,28	1,51	1,49
85	1,28	1,08	0,85	0,63	0,47	0,42	0,47	0,64	0,9	1,22	1,45	1,44
90	1,22	1,02	0,78	0,56	0,4	0,34	0,39	0,56	0,83	1,16	1,39	1,38

Tabla 1.40. Factor de corrección en función de la latitud y la inclinación





4: E (Energía total teórica incidente diaria)

El valor E (energía total teórica que incide en un día medio del mes considerado en cada m² de colector) se calculará multiplicando la energía incidente sobre un metro cuadrado de superficie, corregida por tratarse de una zona montañosa, por el factor de corrección debido a la inclinación de los colectores.

Se debe resaltar que, tanto a primeras horas de la mañana como a últimas de la tarde, aunque llega energía a la superficie colectora, ésta puede no ser de suficiente para compensar las pérdidas por radiación, convección y conducción que se producirían en la instalación. Por ello se estima que la energía no aprovechada por el colector es aproximadamente de un 6% de la energía total diaria E, por lo que se multiplicará este dato por 0,94.

Por lo que el cálculo de la energía total diaria E corresponde con la siguiente expresión:

$$E = 0,94 * C_{\text{Corregida}} * k$$

5: E (Energía total teórica incidente mensual)

Únicamente multiplicando la columna anterior por el número de días que tiene cada mes se obtiene la energía total teórica que incide el mes considerado por metro cuadrado de superficie.



	1	2	3	4	5
MES	ENERGÍA NETA DISPONIBLE	H CORREGIDA	K	E (MJ) (en un día medio del mes)	E (MJ) (al mes)
ENERO	5,50	5,78	1,37	7,44	230,55
FEBRERO	7,70	8,09	1,29	9,80	274,51
MARZO	11,30	11,87	1,2	13,38	414,90
ABRIL	11,70	12,29	1,1	12,70	381,08
MAYO	14,60	15,33	1,03	14,84	460,12
JUNIO	16,20	17,01	1	15,99	479,68
JULIO	16,10	16,91	1,03	16,37	507,39
AGOSTO	13,60	14,28	1,11	14,90	461,89
SEPTIEMBRE	12,70	13,34	1,24	15,54	466,30
OCTUBRE	10,30	10,82	1,38	14,03	434,91
NOVIEMBRE	6,20	6,51	1,48	9,06	271,70
DICIEMBRE	5,00	5,25	1,45	7,16	221,83
TOTAL	10,90	11,45			

Tabla 1.41.

1.3.3.2.3. DATOS OBTENIDOS

Con los datos obtenidos se realiza una nueva gráfica donde se representa la aportación solar mensual:

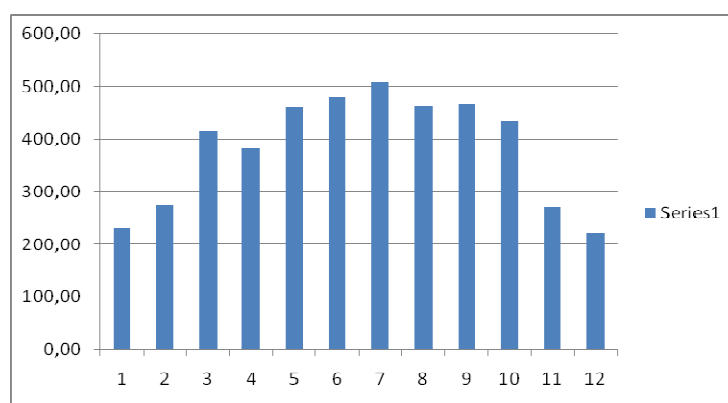
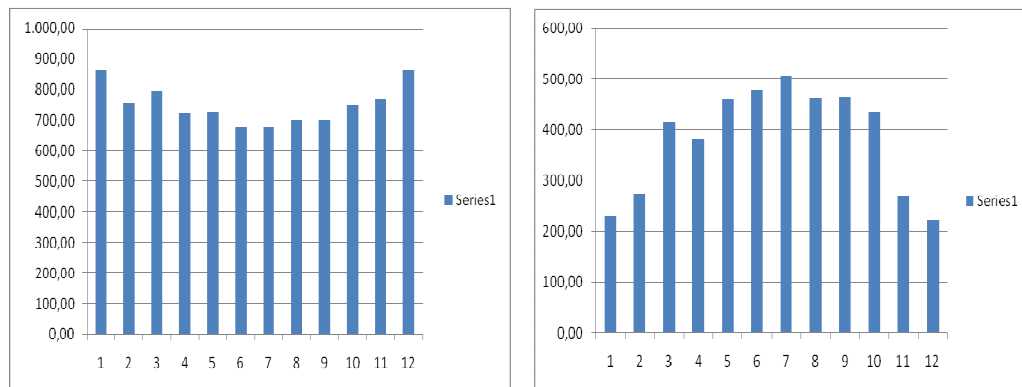


Gráfico 1.42. Diagrama de aportación energética

COMPARACIÓN NECESIDADES-APORTACIÓN SOLAR

Se observa al comparar ambas gráficas que el consumo es mayor precisamente en los meses de menos aportación solar y viceversa.

Lo ideal sería que la curva de consumo coincidiese lo máximo posible en todo el periodo de funcionamiento de la instalación con la curva de aportación solar, lo que desgraciadamente no sucede ya que en los meses de menor aportación solar es cuando generalmente más consumo se produce.



Gráfica 1.43.A Diagrama de necesidades

1.43.B Diagrama de aportación energética

1.3.3.3. CÁLCULO DE LA SUPERFICIE COLECTORA NECESARIA

PRIMERA ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE COLECTORA NECESARIA:

Conocida la aportación solar teórica y las necesidades para cada mes de la instalación, se estima una primera superficie de colectores dividiendo las necesidades energéticas totales (anuales) entre la energía teórica disponible por metro cuadrado de superficie colectora:





De la tabla 1 del cálculo de necesidades:

$$\text{NECESIDADES MENSUALES} = 8.998,28 \text{ MJ}$$

De la tabla 2 del cálculo de la aportación solar:

$$\text{APORTACIÓN SOLAR} = 4.604,85 \text{ MJ}$$

$$\begin{aligned} \text{Superficie colectora inicial} &= \text{necesidades anuales/aportación solar anual} = \\ &8998,28/4.604,85 = 1,96 \text{ metros cuadrados} \end{aligned}$$

1.3.3.3.1. SELECCIÓN DEL COLECTOR

Se ha seleccionado la marca Termicol para realizar la instalación, debido a sus buenas características técnicas, facilidad de instalación y garantía de la marca.

DATOS DEL COLECTOR SELECCIONADO

A continuación se describen las características principales de los paneles de dicha marca, resaltando el modelo seleccionado:

Los captadores solares térmicos Termicol están desarrollados para aplicaciones de aprovechamiento térmico a baja temperatura (inferior a 100 °C).





Figura 1.44. Imagen de colector solar plano

Su capacidad para producir calor se basa en dos fenómenos bien conocidos: el efecto invernadero y la capacidad de absorción de calor de los cuerpos. Además, están diseñados para soportar las más duras condiciones climáticas.

Para su construcción se emplean los materiales más avanzados con el fin de obtener una larga vida útil y el máximo rendimiento energético.

Los captadores solares transforman la energía del sol en energía calorífica, elevando la temperatura de un fluido, agua o anticongelante, que circula por su interior. Entre las múltiples aplicaciones podemos destacar la producción de agua caliente sanitaria, la climatización de piscinas, calefacción, refrigeración...

MODELO	POSICIÓN	TRATAMIENTO	SUP.ÚTIL (m ²)
T20C-R	VERTICAL	CROMO NEGRO	1,9
T25C-R			2,4
T20S-R		SELECTIVO	1,9
T25S-R			2,4
T20SH-R	HORIZONTAL	SELECTIVO	1,9
T25SH-R			2,4

Tabla 1.45. Características colectores Termicol

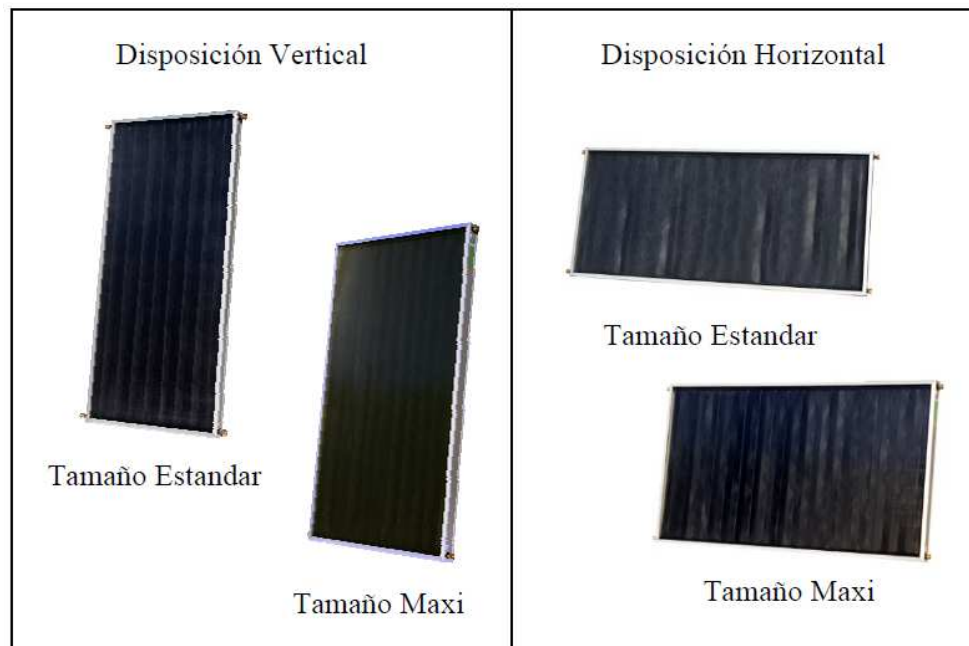


Tabla 1.46. Modelos de captadores

COMPONENTES

- **Absorbedor:** formado por un emparrillado de tubos de cobre con aletas de cobre soldadas por ultrasonidos y soldados a dos tubos colectores superior e inferior. La unión entre tubos está realizada por soldadura fuerte por capilaridad con aportación de material de alto punto de fusión. La unión de las aletas y los tubos está realizada mediante soldadura por ultrasonidos. El tratamiento superficial que se aplica al modelo seleccionado, T25S-R, es del tipo selectivo.
- **Cubierta transparente:** vidrio templado extra claro de 3,2 mm de espesor, con bajo contenido en hierro y transmisividad superior al 90%.
- **Carcasa:** formada por perfilera de aluminio anodizado extruido y dorso con lámina de aluminio gofrado
- **Aislamiento:** lana de roca semirrígida de 40 mm de espesor.

- **Conexiones:** la unión entre captadores se realiza mediante un enlace cónico de compresión incorporado al captador y preparado para unirse sin juntas ni teflón

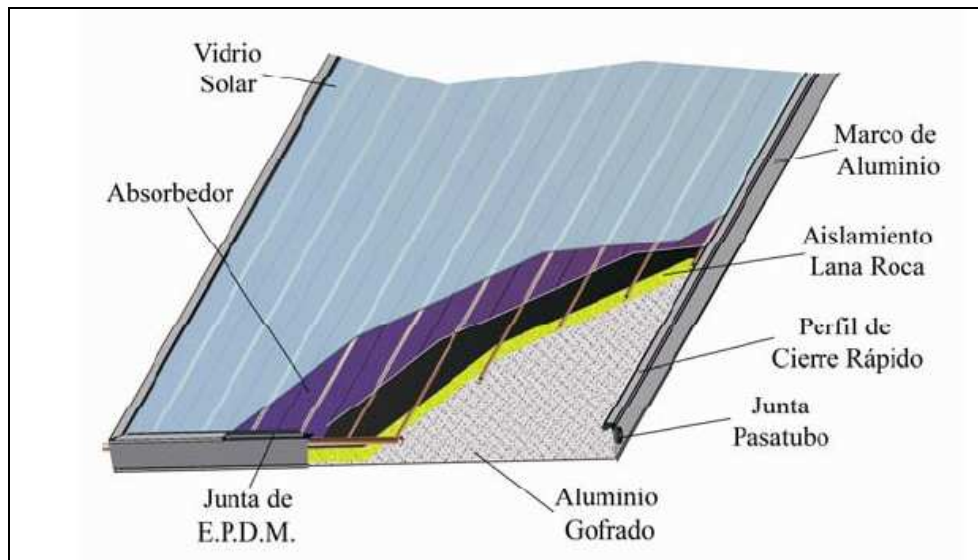


Figura 1.47. Detalle del colector solar

En los siguientes esquemas y tabla se muestran las dimensiones principales de los captadores verticales y horizontales:

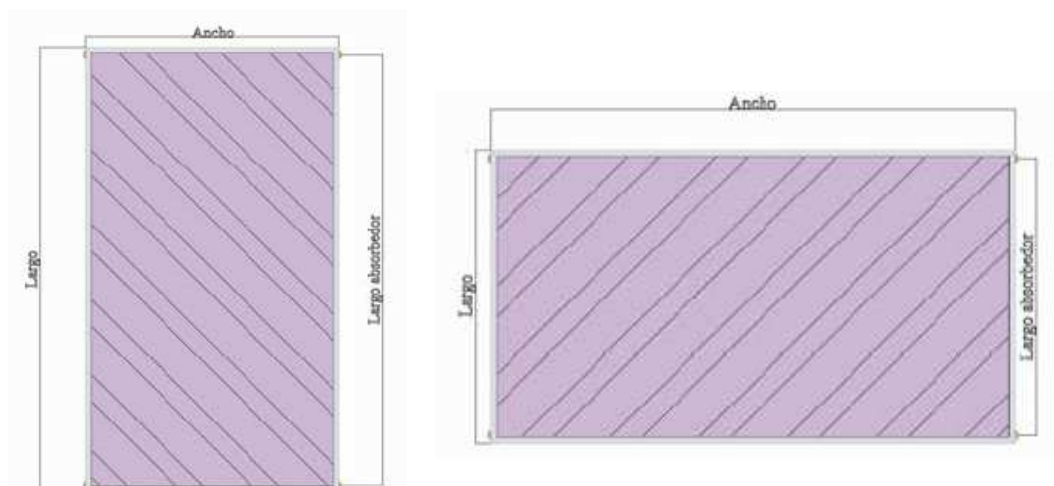


Figura 1.48. Colector solar plano

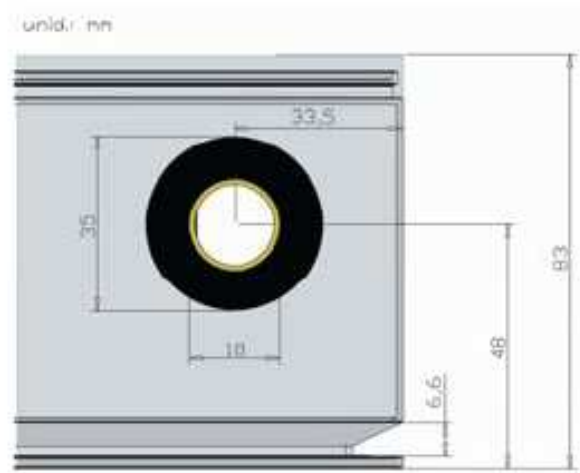


Figura 1.49. Detalle de conexión

	T20C-R	T25C-R	T20S-R	T25S-R	T20SH-R	T25SH-R
Largo (mm)	2.124				970	1200
Ancho (mm)	970	1200	970	1200	2.124	2.124
Largo absorbedor (mm)	2057				903	1133
Espesor (mm)	83					
Superficie bruta (m ²)	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	2,5
Superficie útil (m ²)	1,9	2,4	1,9	2,4	1,9	2,4
Rendimiento Óptico	0,739	0,741	0,770	0,770	0,728	0,731
Factor de pérdidas K ₁ (W/ K*m ²)	6,341	6,191	4,086	3,663	4,989	4,308
Factor de pérdidas K ₂ (W/ K*m ²)	0,017	0,016	0,013	0,016	0,014	0,016
Peso en vacío (kg)	30	37	30	37	30	37
Capacidad de fluido (lit.)	1,02	1,27	1,02	1,27	0,95	1,05
Caudal recomendado (lit./h*m ²)	30-40					
Material del absorbedor	Cobre					
Tratamiento del absorbedor	Pintura negra de Cromo		Selectivo			
Espesor aleta de cobre (mm)	0,2					
Nº canales	8	10	8	10	18	18
Diámetro de canales (mm)	8					
Diámetro tubo colector (mm)	18					
Carcasa	Aluminio					
Material cubierta	Vidrio templado 3,2 mm					
Aislamiento	40 mm, lana de roca semirrígida					

Figura 1.50. Datos técnicos colector T25S-R de Termicol






La caracterización energética de un captador solar viene definida por su rendimiento. En general, se define el rendimiento de un captador como la relación entre el flujo energético que le llega (es decir, la radiación solar) y la energía útil que se transmite al fluido caloportador. Sin embargo, este rendimiento se caracteriza por no ser constante, lo que obliga a definirlo mediante una curva dependiente de tres parámetros externos: la irradiancia, la temperatura ambiente y la temperatura de entrada en el captador del fluido caloportador.

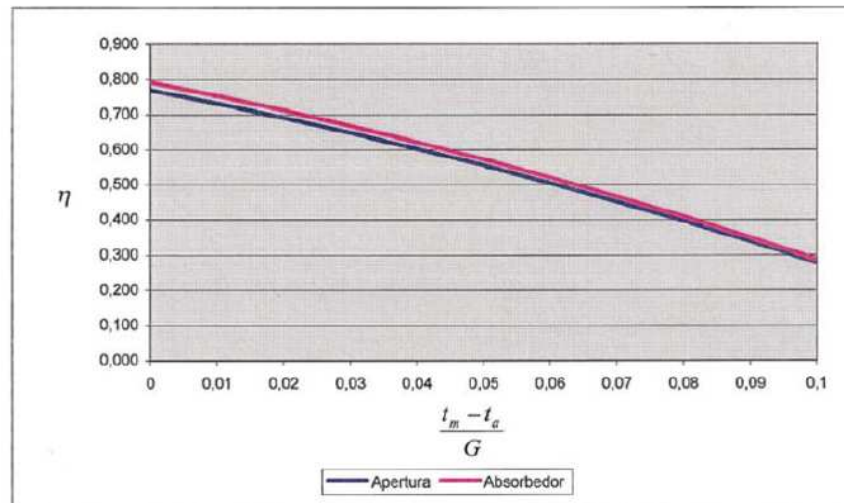
Los coeficientes que acompañan a estas variables definen el comportamiento del captador en términos de ganancias (coeficiente independiente de la curva) y de pérdidas, pudiendo establecerse un criterio de calidad energética de éste en función de los valores que tengan estos coeficientes. Dichos coeficientes serán tanto mejores (altas ganancias y bajas pérdidas) cuanto más cuidado se haya puesto en la selección de los materiales que componen el captador y en su proceso de fabricación.

Por este motivo, se facilitan los valores de los coeficientes obtenidos en los ensayos energéticos dictados por la norma EN 12975 y obtenidos en laboratorios independientes acreditados para poder realizar este tipo de pruebas.



MODELO TERMICOL T25S-R: Contraseña de Homologación NPS-11707

	INFORME DE ENSAYO	LABORATORIO DE CAPTADORES SOLARES
---	--------------------------	-----------------------------------



η_{0a}	:	0,770	
a_{1a}	:	3,663	$\text{W/m}^2\text{K}$
a_{2a}	:	0,016	$\text{W/m}^2\text{K}^2$

Figura 1.51. Curva de eficiencia instantánea basada en el área de absorción/apertura a 800 W/m^2

INTENSIDAD ÚTIL DEL COLECTOR

En primer lugar se calculará la intensidad útil del colector ya que es un dato que se necesitará posteriormente para calcular su rendimiento.



La intensidad incidente sobre una superficie colectora varía a lo largo del día, pero para efectuar los cálculos se trabajará con una intensidad media, que será el cociente entre la energía útil incidente a lo largo del día y el tiempo útil del día.

El tiempo útil del día es el número medio de horas diarias de sol útiles, obtenido empíricamente según la latitud del lugar y expresado en la siguiente tabla:

LATITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
De +25º a +45º (Hemisferio norte)	8	9	9	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9	9	8	7,5
De -25º a +25º (Zona ecuatorial)	8,75	9,25	9,5	9,25	9,75	8,5	8,75	9,25	9,5	9,25	8,75	8,5
De -25º a -45º (Hemisferio sur)	9,5	9,5	9	9	8	7,5	8	9	9	9,5	9,5	9,5

Tabla 1.52. Número medio de horas diarias de sol útiles para colectores orientados hacia el Ecuador e inclinados un ángulo igual a la latitud ($\pm 15^\circ$)

Con este dato y el de la energía útil incidente al día (en Julios) se obtendrá la intensidad útil del colector según la fórmula siguiente:

$$\text{Intensidad radiante} = E/t \cdot 10^6/3600 \quad (\text{W/m}^2)$$



MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
INTENSIDAD RADIANTE (W/m ²)	258,23	302,59	413,08	371,42	433,99	467,53

MES	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
INTENSIDAD RADIANTE (W/m ²)	478,58	435,67	479,73	433,00	314,47	265,03

Figura 1.53. Intensidad radiante (W/m²)

RENDIMIENTO DEL COLECTOR

El cálculo del rendimiento del colector mes a mes se efectuará a partir de la curva de rendimiento teórico dada por el fabricante del colector que será de la forma:

$$\eta = F(\zeta\alpha)_N - [FU(t_m - t_a)]/I$$

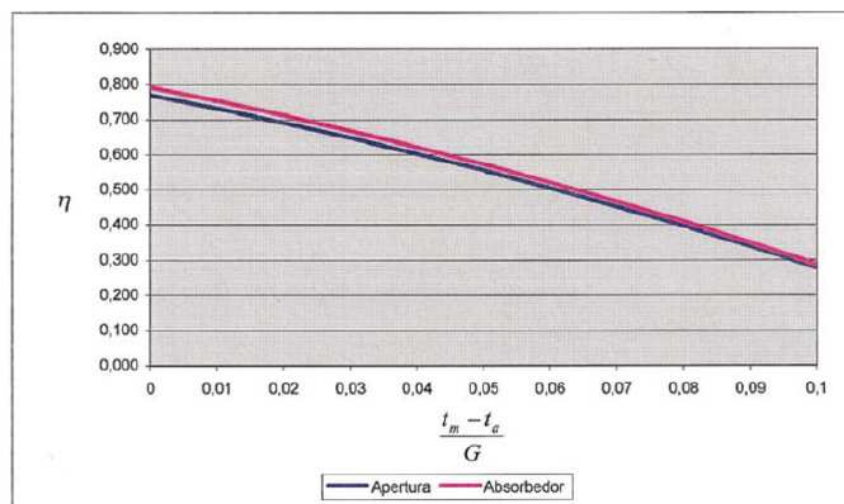
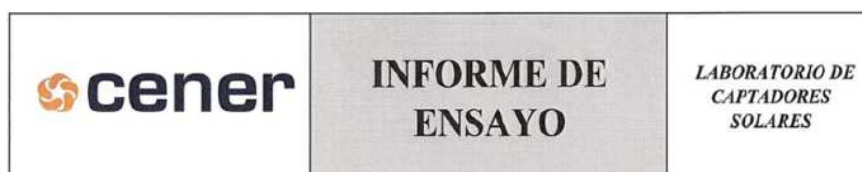
Esta fórmula debe ser corregida ya que proporciona el rendimiento teórico suponiendo que los rayos inciden perpendicularmente sobre la superficie del colector. Como la realidad demuestra que los rayos varían el ángulo de incidencia a lo largo del día, α disminuye en un factor **0,97**, deducido de forma experimental.

Debido a los efectos de la suciedad y el envejecimiento que soportan las cubiertas transparentes de los colectores de la instalación, se debe suponer un factor ζ de **0,97** que disminuya también el rendimiento de la instalación.



Por lo establecido en los párrafos anteriores, se determina el primer término de la ecuación: $F(\zeta\alpha)_N = 0,97 \cdot 0,97 = 0,94$ obteniendo una ecuación más simplificada para el rendimiento:

$$\eta = 0,94 - [FU(t_m - t_a)]/I$$



η_{0a}	:	0,770	
a_{1a}	:	3,663	W/m^2K
a_{2a}	:	0,016	W/m^2K^2

Figura 1.54. Curva de eficiencia instantánea basada en el área de absorción/apertura a $800 W/m^2$

Para el cálculo del rendimiento del colector por la fórmula expuesta anteriormente es necesario el dato t_a , temperaturas medias durante las horas de sol en la provincia de estudio. Estos datos se obtienen de la tabla siguiente:



Temperatura ambiente media durante las horas de sol, en °C. (Fuente: CENSOLAR).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	7	7	11	12	15	19	21	21	19	15	10	7	13,7
2 ALBACETE	6	8	11	13	17	22	26	26	22	16	11	7	15,4
3 ALICANTE	13	14	16	18	21	25	28	28	26	21	17	14	20,1
4 ALMERÍA	15	15	16	18	21	24	27	28	26	22	18	16	20,5
5 ASTURIAS	9	10	11	12	15	18	20	20	19	16	12	10	14,3
6 ÁVILA	4	5	8	11	14	18	22	22	18	13	8	5	12,3
7 BADAJOZ	11	12	15	17	20	25	28	28	25	20	15	11	18,9
8 BALEARES	12	13	14	17	19	23	26	27	25	20	16	14	18,8
9 BARCELONA	11	12	14	17	20	24	26	26	24	20	16	12	18,5
10 BURGOS	5	6	9	11	14	18	21	21	18	13	9	5	12,5
11 CÁCERES	10	11	14	16	19	25	28	28	25	19	14	10	18,3
12 CÁDIZ	13	15	17	19	21	24	27	27	25	22	18	15	20,3
13 CANTABRIA	11	11	14	14	16	19	21	21	20	17	14	12	15,8
14 CASTELLÓN	13	13	15	17	20	24	26	27	25	21	16	13	19,2
15 CEUTA	15	15	16	17	19	23	25	26	24	21	18	16	19,6
16 CIUDAD REAL	7	9	12	15	18	23	28	27	20	17	11	8	16,3
17 CÓRDOBA	11	13	16	18	21	26	30	30	26	21	16	12	20
18 LA CORUÑA	12	12	14	14	16	19	20	21	20	17	14	12	15,9
19 CUENCA	5	6	9	12	15	20	24	23	20	14	9	6	13,6
20 GERONA	9	10	13	15	19	23	26	25	23	18	13	10	17
21 GRANADA	9	10	13	16	18	24	27	27	24	18	13	9	17,3
22 GUADALAJARA	7	8	12	14	18	22	26	26	22	16	10	8	15,8
23 GUIPÚZCOA	10	10	13	14	16	19	21	21	20	17	13	10	15,3
24 HUELVA	13	14	16	20	21	24	27	27	25	21	17	14	19,9
25 HUESCA	7	8	12	15	18	22	25	25	21	16	11	7	15,6
26 JAÉN	11	11	14	17	21	26	30	29	25	19	15	10	19
27 LEÓN	5	6	10	12	15	19	22	22	19	14	9	6	13,3
28 LÉRIDA	7	10	14	15	21	24	27	27	23	18	11	8	17,1
29 LUGO	8	9	11	13	15	18	20	21	19	15	11	8	14
30 MADRID	6	8	11	13	18	23	28	26	21	15	11	7	15,6
31 MÁLAGA	15	15	17	19	21	25	27	28	26	22	18	15	20,7
32 MELILLA	15	15	16	18	21	25	27	28	26	22	18	16	20,6
33 MURCIA	12	12	15	17	21	25	28	28	25	20	16	12	19,3
34 NAVARRA	7	7	11	13	16	20	22	23	20	15	10	8	14,3
35 ORENSE	9	9	13	15	18	21	24	23	21	16	12	9	15,8
36 PALENCIA	5	7	10	13	16	20	23	23	20	14	9	6	13,8
37 LAS PALMAS	20	20	21	22	23	24	25	25	26	25	23	21	22,9
38 PONTEVEDRA	11	12	14	16	18	20	22	23	20	17	14	12	16,6
39 LA RIOJA	7	9	12	14	17	21	24	24	21	16	11	8	15,3
40 SALAMANCA	6	7	10	13	16	20	24	23	20	14	9	6	14
41 STA. C. DE TENERIFE	19	20	20	21	22	24	26	27	26	25	23	20	22,8
42 SEGOVIA	4	6	10	12	15	20	24	23	20	14	9	5	13,5
43 SEVILLA	11	13	14	17	21	25	29	29	24	20	16	12	19,3
44 SORIA	4	6	9	11	14	19	22	22	18	13	8	5	12,6
45 TARRAGONA	11	12	14	16	19	22	25	26	23	20	15	12	17,9
46 TERUEL	5	6	9	12	16	20	23	24	19	14	9	6	13,6
47 TOLEDO	8	9	13	15	19	24	28	27	23	17	12	8	16,9
48 VALENCIA	12	13	15	17	20	23	26	27	24	20	16	13	18,8
49 VALLADOLID	4	6	9	12	17	21	24	23	18	13	8	4	13,3
50 VIZCAYA	10	11	12	13	16	20	22	22	20	16	13	10	15,4
51 ZAMORA	6	7	11	13	16	21	24	23	20	15	10	6	14,3
52 ZARAGOZA	8	10	13	16	19	23	26	26	23	17	12	9	16,8

Figura 1.55. Temperatura ambiente media durante las horas de sol, en °C (CENSOLAR)



Por tratarse de una instalación de agua caliente sanitaria, t_m , la temperatura media del agua en el acumulador tendrá un valor de **45°C** y la intensidad útil, representada por I , será la calculada anteriormente.

De esta forma, el rendimiento teórico del colector es de:

$$\eta = 0,94 - [FU(t_m - t_a)]/I = 0,94 - [FU (45 - t_a)]/I$$

MES	t (horas)	INTENSIDAD RADIANTE (W/m2)	TEMPERATURA AMBIENTE	RENDIMIENTO
ENERO	8,00	258,23	10,00	0,80
FEBRERO	9,00	302,59	10,00	0,82
MARZO	9,00	413,08	13,00	0,86
ABRIL	9,50	371,42	14,00	0,86
MAYO	9,50	433,99	16,00	0,87
JUNIO	9,50	467,53	19,00	0,88
JULIO	9,50	478,58	21,00	0,89
AGOSTO	9,50	435,67	21,00	0,88
SEPTIEMBRE	9,00	479,73	20,00	0,89
OCTUBRE	9,00	433,00	17,00	0,88
NOVIEMBRE	8,00	314,47	13,00	0,84
DICIEMBRE	7,50	265,03	10,00	0,81

Tabla 1.56. Rendimiento del colector según mes del año

CÁLCULO DE LA ENERGÍA NETA DISPONIBLE

A continuación se calculará la aportación solar por metro cuadrado de superficie colectora, según el rendimiento teórico obtenido anteriormente. Para ello simplemente habrá que multiplicar la energía total teórica incidente por metro cuadrado de colector al mes por el rendimiento mensual que se acaba de calcular.

$$E_{\text{útil}} = \eta * E$$



Se obtiene la siguiente tabla de valores para cada mes del año:

MES	E (MJ) (al mes)	RENDIMIENTO	E útil
ENERO	230,55	0,80	185,47
FEBRERO	274,51	0,82	226,29
MARZO	414,90	0,86	357,86
ABRIL	381,08	0,86	326,41
MAYO	460,12	0,87	401,76
JUNIO	479,68	0,88	424,23
JULIO	507,39	0,89	451,50
AGOSTO	461,89	0,88	408,73
SEPTIEMBRE	466,30	0,89	414,02
OCTUBRE	434,91	0,88	380,69
NOVIEMBRE	271,70	0,84	227,75
DICIEMBRE	221,83	0,81	179,22

Tabla 1.57. Energía útil

La energía diaria que aportan los colectores no coincide con la disponible para el consumo, debido a las pérdidas que se producen en todos los elementos de la instalación y principalmente en el acumulador; por ello, y al no poseer datos de partida, se supondrán unas pérdidas globales del 15%.

De esta forma se obtendrá la energía neta disponible al día por metro cuadrado de colector para cada mes:

$$E_{\text{neta}} = 0,85E_{\text{util}}$$





MES	E útil	Eneta
ENERO	185,47	157,65
FEBRERO	226,29	192,34
MARZO	357,86	304,18
ABRIL	326,41	277,45
MAYO	401,76	341,50
JUNIO	424,23	360,59
JULIO	451,50	383,78
AGOSTO	408,73	347,42
SEPTIEMBRE	414,02	351,92
OCTUBRE	380,69	323,58
NOVIEMBRE	227,75	193,59
DICIEMBRE	179,22	152,34

Tabla 1.58. Energía neta

Se observa la diferencia entre la aportación solar teórica por metro cuadrado de superficie calculada inicialmente (4.604,85) y la energía neta disponible por metro cuadrado de superficie real (3.386,34).

$$(4.604,85-3.386,34)/ 4.604,85*100 = \mathbf{26,5\%}$$

En la realidad la energía solar de la que se dispone es un 26,5% menor que la teórica, debido a las pérdidas por orientación, suciedad o las propias de la instalación que se han tenido en cuenta anteriormente durante el cálculo.





1.3.3.3.2. CÁLCULO DE LA SUPERFICIE COLECTORA NECESARIA

Debido a la gran diferencia entre la aportación solar teórica y la energía neta disponible es necesario recalcular la superficie colectora necesaria.

Para ello se realiza la misma operación: se divide la energía total anual necesaria por la energía total anual neta disponible por metro cuadrado de colector (conseguida realizando el sumatorio de la energía neta mensual disponible por metro cuadrado de colector) y se obtiene el número de metros cuadrados de colector necesarios.

MES	Eneta
ENERO	157,65
FEBRERO	192,34
MARZO	304,18
ABRIL	277,45
MAYO	341,50
JUNIO	360,59
JULIO	383,78
AGOSTO	347,42
SEPTIEMBRE	351,92
OCTUBRE	323,58
NOVIEMBRE	193,59
DICIEMBRE	152,34
TOTAL	3.386,34

Tabla 1.59. Energía neta con total

Superficie colectora necesaria (m²) = necesidades anuales / energía neta anual disponible por metro cuadrado de superficie colectora = 8998,28 / 3.386,34 = 2,67m²



Simplemente dividiendo la superficie total de colectores necesaria entre la superficie de un colector se obtiene el número de colectores necesarios para el correcto funcionamiento de la instalación.

Observamos que el colector seleccionado tiene una superficie útil de 2,4 m², por lo que:

$$\begin{aligned} \text{Nº colectores necesario} &= \text{Superficie total necesaria} / \text{Superficie colector} = \\ &= 2,67 / 2,4 = \mathbf{1,125 \text{ colectores}} \end{aligned}$$

Se instalará un solo colector de 2,4 m² de superficie debido a que abastece prácticamente las necesidades completas de la vivienda.

Dicho colector solar se instalará sobre la cubierta inclinada de la vivienda (tejado) con la estructura soporte que ofrece el fabricante para este tipo de ubicación.

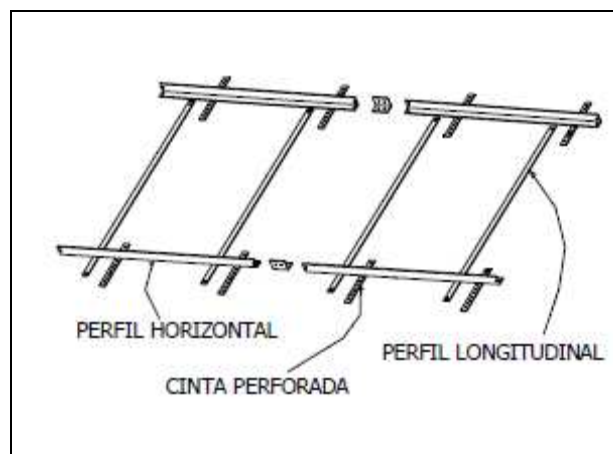


Figura 1.60 Estructura soporte



Figura 1.61 Dimensiones estructura soporte

La información referente a las estructuras soporte se detalla en el **anexo IV**.

1.3.3.3.3. CÁLCULO DE LA ENERGÍA APROVECHABLE

Tras establecer el número de paneles necesarios para la instalación se recalcula la energía solar que se aprovechará teniendo en cuenta la superficie colectora seleccionada.

Multiplicando la energía neta disponible por metro cuadrado de superficie por la superficie total del panel seleccionado y por el número de paneles se obtiene la energía solar total aprovechable:

$$\begin{aligned} \text{Energía solar total aprovechable} &= \text{energía neta disponible} \cdot \text{m}^2 \text{ superficie panel} \cdot \\ \text{nº paneles} &= 3.386,34 \cdot 2,4 \cdot 1 = \mathbf{8.127,216 \text{ MJ}} \end{aligned}$$



Se observa un déficit de 871 MJ aproximadamente, que serán aportados por el equipo auxiliar en los momentos de mayor consumo o menor aportación solar en los que la instalación solar térmica no pueda abastecer las necesidades.

1.3.3.3.4. CÁLCULO DE LA CONTRIBUCIÓN SOLAR

La contribución solar anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual, obtenidos a partir de los valores mensuales.

Se comprueba que la instalación proyectada cumple con el Código Técnico de Edificación, concretamente con el Documento Básico HE-4 en su apartado 2, que establece la contribución solar mínima para cada zona climática y diferentes niveles de demanda de agua caliente sanitaria a una temperatura de referencia de 60°C, según las tablas xx y xx s, considerándose los siguientes casos:

- general:** suponiendo que la fuente energética de apoyo sea gasóleo, propano, gas natural, u otras
- efecto Joule:** suponiendo que la fuente energética de apoyo sea electricidad mediante efecto Joule.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

Tabla 1.62. Contribución solar mínima en %. Caso general



Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-1.000	50	60	70	70	70
1.000-2.000	50	63	70	70	70
2.000-3.000	50	66	70	70	70
3.000-4.000	51	69	70	70	70
4.000-5.000	58	70	70	70	70
5.000-6.000	62	70	70	70	70
> 6.000	70	70	70	70	70

Tabla 1.63. Contribución solar mínima en %. Caso Efecto Joule

La vivienda está ubicada en la zona I tal y como se observa en la siguiente figura:

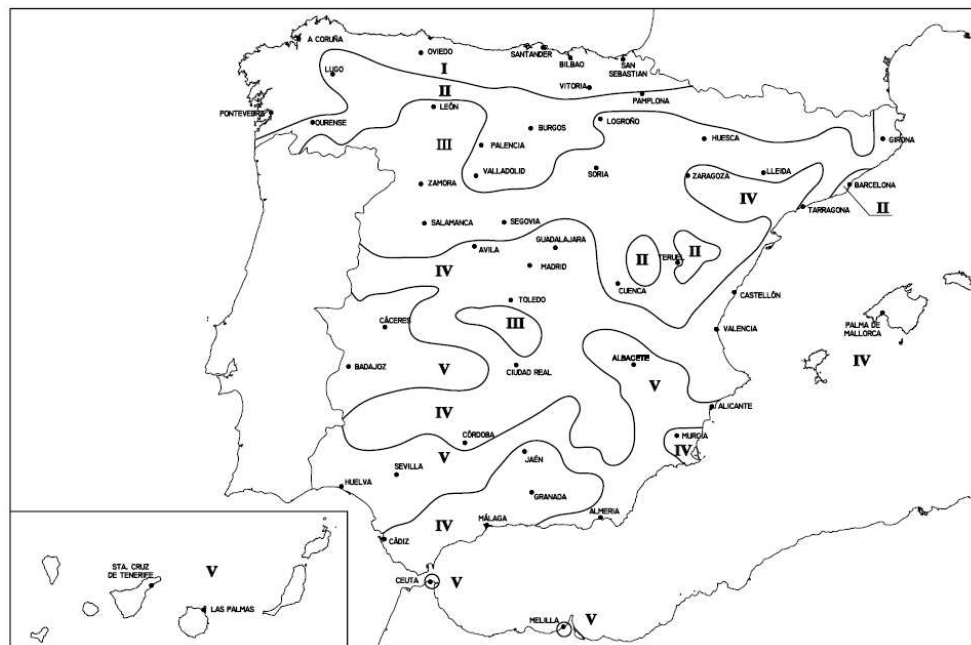


Figura 1.64. Zonas climáticas

GUIPUZCOA	Arrasate o Mondragón	I
	Donostia-San Sebastián	I
	Eibar	I
	Errenteria	I
	Irun	I

Tabla 1.65. Zonas climáticas de Guipúzcoa





Y puesto que la demanda total de agua caliente sanitaria en litros por día es de 45 litros por persona y día y se ha estimado una ocupación de cuatro personas, la demanda total de ACS será de 180 litros por día.

Dado que se trata de una instalación con energía auxiliar de gas, se toma la primera tabla correspondiente al caso general. Esta tabla establece que la contribución solar mínima debe ser del 30%.

Para comprobar que se cumple dicha condición habrá que dividir la energía solar total anual exigida, es decir la energía aportada al año por la instalación, entre la demanda energética anual, es decir las necesidades totales al año:

$$\text{Contribución} = 4.604,85 \text{ MJ} / 8998,28 \text{ MJ} = 0,5095, \text{ es decir } 51 \text{ \%}.$$

Se observa que la contribución solar de la instalación proyectada (51%) es superior a la mínima exigida por el CTE, por lo que se confirma que cumple dicha condición.

1.3.3.4. DIMENSIONADO DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

1.3.3.4.1. INTRODUCCIÓN

Tras realizar el dimensionado de la superficie colectora para la instalación según las necesidades de la vivienda en estudio y las condiciones climáticas de la zona, se estudiarán los elementos restantes de la instalación de energía solar





térmica para la producción de agua caliente sanitaria en base a los datos obtenidos.

Se realiza un estudio previo para determinar qué elementos se necesitarán, según el tipo de instalación y la circulación seleccionada.

Se ha optado por un sistema de circulación forzada indirecta con acumulador e intercambiador térmico.

En la transferencia térmica indirecta existe un intercambiador térmico evitándose que el fluido caloportador se mezcle con el ACS. Debido a que la temperatura mínima histórica en la zona es muy baja (inferior al punto de congelación del agua) se deberá añadir anticongelante al agua del circuito primario. La mezcla de agua y anticongelante tiene mayor densidad que el agua, característica a tener en cuenta al dimensionar la bomba de circulación, que deberá ser de mayor tamaño.

La circulación del fluido se consigue por medio de un electrocircular, circulación forzada, que evita los defectos propios de los sistemas de circulación natural. Como inconvenientes está la necesidad de energía eléctrica y de regulación y control del circular.

Como el intercambiador está a una altura inferior a los colectores el electrocircular es imprescindible. Habrá que incluir además una válvula antirretorno para evitar el posible efecto termosifónico nocturno.





En el circuito secundario se encuentra el acumulador junto con una fuente auxiliar de energía (calentador) en serie con este.

Como ventajas de este tipo de circuito estaría la existencia de un mejor sistema de control así como de seguridad, lo que aumenta el rendimiento de la instalación.

Los inconvenientes principales serían la necesidad de un circuito eléctrico adicional y un sistema de control, elementos que elevan el precio de la instalación y de su mantenimiento.

1.3.3.4.2. SISTEMA DE TERMOTRANSFERENCIA

1.3.3.4.2.1. INTRODUCCIÓN

Se estudiará en primer lugar el sistema de termotransferencia, que comprende todos aquellos elementos de la instalación relacionados con la transferencia térmica: fluido caloportador, tuberías y conductos, aislamientos, bombas de circulación e intercambiador de calor.

1.3.3.4.2.2. FLUIDO CALOPORTADOR

Como fluido de trabajo del circuito primario se podrá utilizar agua de la red, agua desmineralizada o agua con aditivos, en función de las características climatológicas del lugar y del agua utilizada. En la instalación que se estudia, por





estar ubicada en un lugar con bajas temperaturas en invierno, se utilizará agua con anticongelante.

Como anticongelantes podrán utilizarse los productos, solos o mezclados con agua, que cumplan la reglamentación vigente y cuyo punto de congelación sea al menos 5°C inferior a la temperatura mínima histórica que se haya registrado en la zona donde se sitúa la instalación, es decir -17°C por ser la temperatura mínima histórica de -12°C.

El pH del fluido de trabajo a 20°C estará comprendido entre 5 y 9, y el contenido en sales se ajustará a los señalados a continuación:

- La salinidad del agua del circuito primario no excederá de 500 mg/l totales de sales solubles. En caso de no disponer de este valor se tomará la conductividad, que no podrá sobrepasar los 650µS/cm.
- El contenido en sales de calcio no será superior a 200 mg/l expresado como contenido en carbonato cálcico.
- El límite de CO₂ libre contenido en el agua no excederá de 50 mg/l.

Fuera de estos valores se deberá tratar el agua.

El diseño de los circuitos evitará cualquier tipo de mezcla de los distintos fluidos que puedan operar en la instalación. En particular, se deberá prestar especial atención a una eventual contaminación del agua caliente sanitaria por el fluido del circuito primario.





Se tendrá que tener muy en cuenta las propiedades de la mezcla, que se citan a continuación:

Toxicidad:

Los anticongelantes suelen ser tóxicos tanto por los elementos que se utilizan en su composición como por la adición de productos inhibidores de la corrosión, hecho que nos obligará a asegurarnos de la imposibilidad de mezcla entre estos y el agua de consumo. La forma más sencilla de lograrlo es haciendo que la presión del circuito primario sea inferior a la del secundario, para que, en caso de contacto entre ambos fluidos por rotura en el punto de intercambio, el agua pase hacia el circuito primario que contiene el anticongelante, y no al revés. Por este motivo, la válvula de seguridad del circuito primario estará tarada a una presión inferior a la del agua de red, para provocar su funcionamiento en el caso de la avería citada.

Viscosidad:

El hecho de añadir anticongelante al agua hace que aumente considerablemente su viscosidad, por lo que será preciso tener en cuenta esta a la hora de hallar las pérdidas de carga de las instalaciones y la potencia del electrocircular, sobre todo para el caso del arranque en frío después de parar la instalación durante la noche.

Dilatación:

El coeficiente de dilatación de los anticongelantes es más alto que el del agua, por lo que se deberá tener en cuenta al calcular el vaso de expansión. Como





norma de seguridad, al usar anticongelantes en proporciones de hasta un 30%, aplicaremos un factor de corrección de 1,1 y de 1,2 si la proporción es mayor.

Estabilidad:

Generalmente, la mayoría de los anticongelantes se degradan con temperaturas del orden de 120°C, pudiendo originar productos corrosivos que degraden los materiales de los que está formado el circuito.

Calor específico:

El calor específico de una sustancia es la cantidad de calor que hay que dar a una determinada masa de dicha sustancia para elevar su temperatura 1°C.

El calor específico de la mezcla de agua con anticongelante es inferior al del agua, lo que deberá ser tenido en cuenta en el cálculo del caudal afectando al dimensionado de la tubería y del electrocircular.

Temperatura de ebullición:

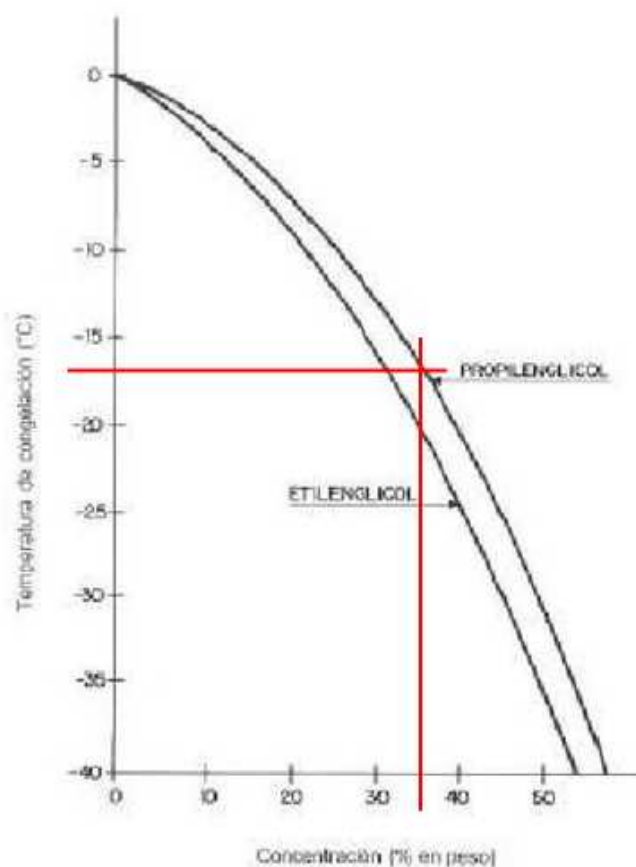
Al mezclar anticongelante con agua, elevaremos la temperatura de ebullición del agua, aunque no en exceso, por lo que no lo vamos a tener en cuenta ya que supone un efecto favorable.

El fluido caloportador que circulará por el circuito primario de la instalación será una mezcla de agua con anticongelante, siendo el anticongelante seleccionado propilenglicol.



La temperatura mínima histórica en la provincia de Guipúzcoa es de -12°C por lo que la instalación debe estar preparada para soportar temperaturas de hasta -17°C (5°C menos que la mínima histórica).

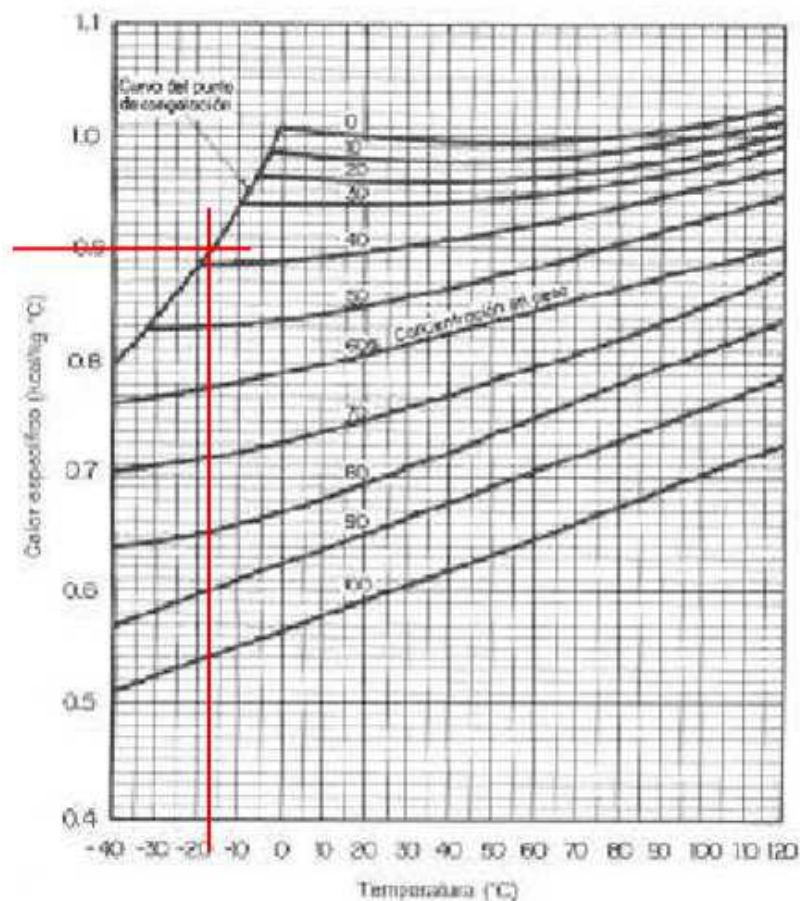
Para hallar la concentración de propilenglicol necesaria para soportar dicha temperatura se observa la **gráfica 1.64.**:



Gráfica 1.66. Temperatura de congelación en función de la concentración

Para soportar dicha temperatura la concentración en peso del propilenglicol deberá ser del 35%.

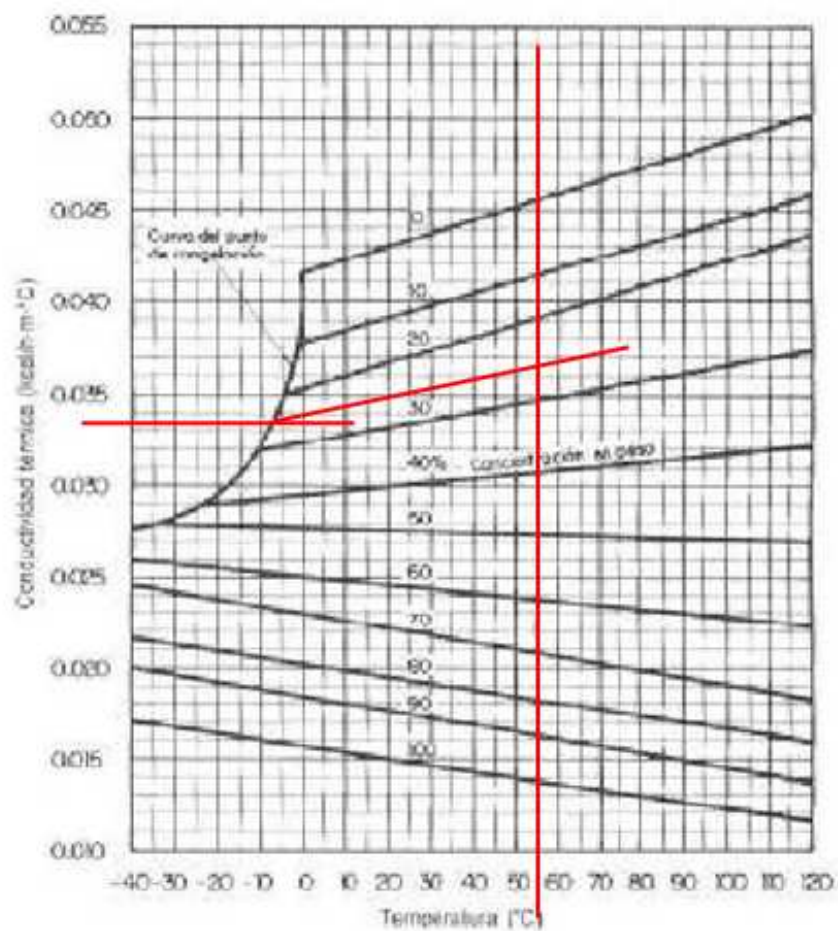
El calor específico de la mezcla será aproximadamente de 0,9 Kcal/kg°C. Para el rango de temperaturas de trabajo en ningún momento el calor específico es inferior a 0,7 Kcal/kg°C tal y como indican las especificaciones técnicas (**gráfica 1.65.**).



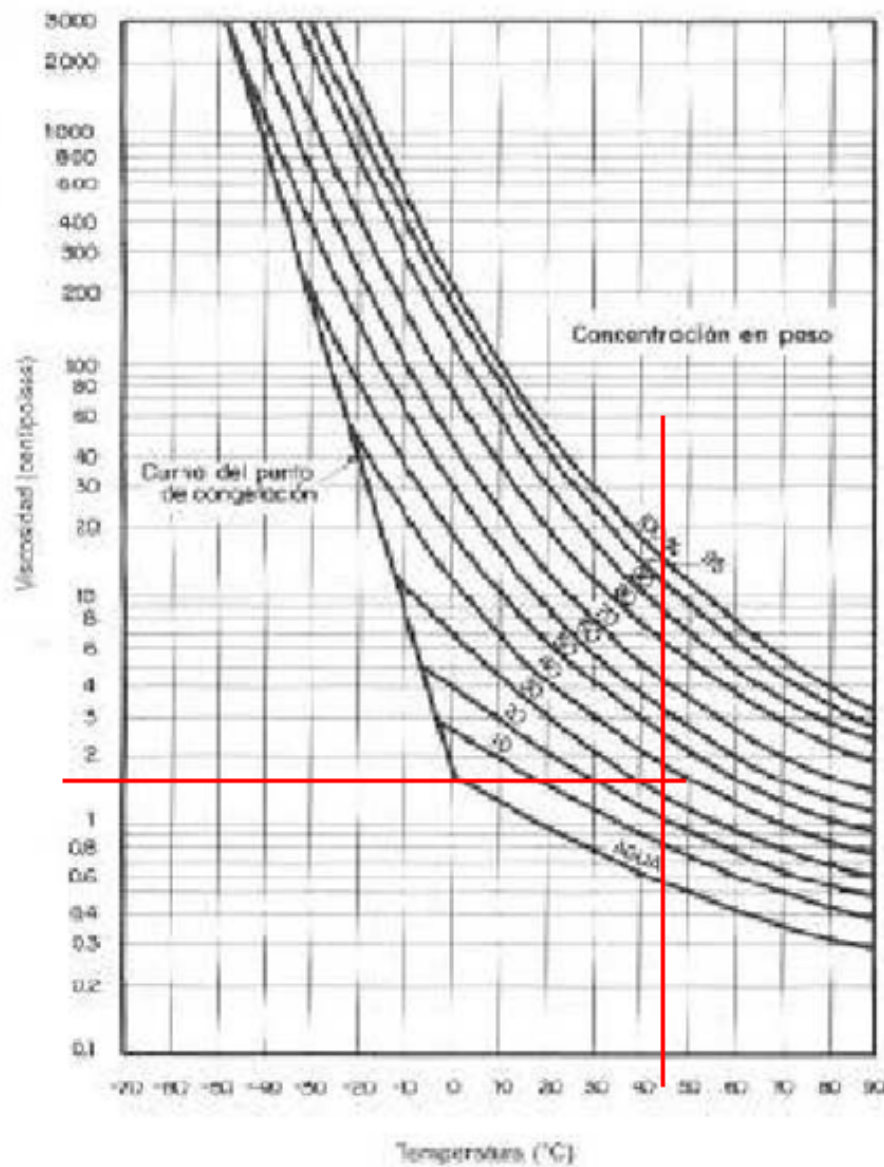
Gráfica 1.67. Calor específico en función de la temperatura y la concentración

Tal y como se observa en la siguiente gráfica, la viscosidad de la mezcla a 45°C será igual a 1,8 centipoises. A continuación se aportan tablas en las que se pueden observar otras características de la mezcla tales como conductividad térmica (**Gráfica 1.66**) y densidad (**Gráfica 1.67**).

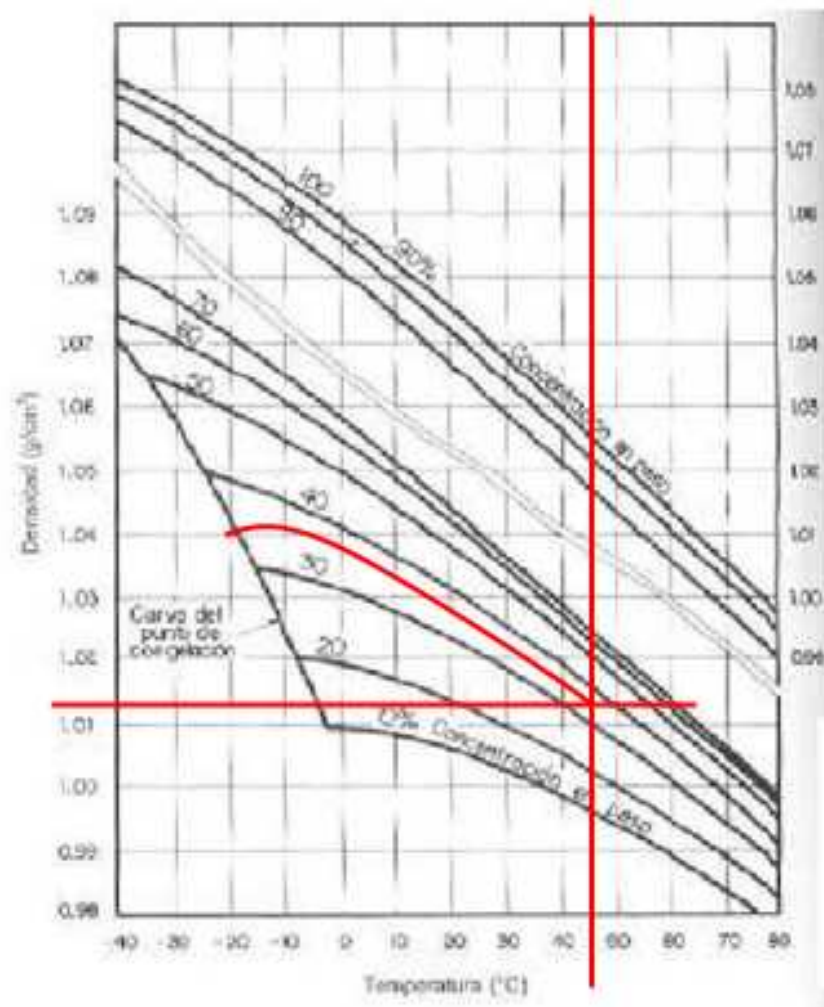




Gráfica 1.68. Conductividad térmica en función de la temperatura y la concentración en peso



Gráfica 1.69. Viscosidad en función de la temperatura y la concentración en peso



Gráfica1.70. Densidad en función de la temperatura y la concentración en peso

El fabricante de los colectores solares seleccionado proporciona también el fluido anticongelante necesario para el llenado del circuito primario.

El anticongelante “Fluidosol” es un líquido fisiológicamente inofensivo y teñido de verde basado en una solución acuosa Propilenglicol y otros glicoles de peso molecular muy elevado, y con un punto de ebullición superior a +290°C a 1030 mbar. Está especialmente diseñado para soportar las condiciones de estancamiento de los captadores solares térmicos.



Para su posterior dilución, se recomienda utilizar agua desionizada. Está inhibido con inhibidores de corrosión no-tóxicos y no contiene nitratos, aminas y fosfatos.

Además, el producto cumple los requerimientos de la DIN 4757 parte 3 para sistemas de energía solar térmica.

Con una concentración de Fluidosol del 30% se logra una protección de la instalación hasta -15°C , se comprueba así que para la temperatura mínima de -17°C es necesario aumentar el porcentaje de concentración hasta el 35%, tal y como se ha demostrado anteriormente.

En la siguiente tabla se muestra los litros de anticongelante puro necesarios para los kits forzados Termicol con una distancia aproximada de 30 metros entre captadores y acumulador:



Imagen 1.71. Anticongelante

ACUMULADOR	Fluidosol concentrado (Litros)
150 Litros	7,2
200 Litros	7,9
300 Litros	9,6
500 Litros	11,2
800 Litros	14,9
1000 Litros	18,2

Tabla 1.72. Volumen de anticongelante en función del acumulador

La cantidad necesaria de anticongelante se determinará según la capacidad del acumulador en el apartado **1.3.3.4.3. SISTEMA DE ACUMULACIÓN.**

1.3.3.4.2.3. TUBERÍAS Y AISLAMIENTOS

CIRCUITO PRIMARIO (Fluido caloportador)

Tuberías

Con objeto de evitar pérdidas térmicas, la longitud de tuberías deberá ser tan corta como sea posible, evitando al máximo codos y pérdidas de carga en general.

El diseño y los materiales deberán ser tales que no exista posibilidad de formación de obstrucciones o deposiciones de cal en sus circuitos que influyan en el rendimiento del sistema.





En sistemas directos se utilizará cobre o acero inoxidable en el circuito primario, admitiéndose tuberías de material plástico acreditado para esta aplicación. En el apartado 3.4.5, “Tuberías” de la sección HE 4 del documento básico HE del CTE, se indica que en las tuberías del circuito primario podrán utilizarse como materiales el acero negro, el cobre y el acero inoxidable, con uniones roscadas, soldadas o embridadas y protección exterior con pintura anticorrosiva.

En el circuito secundario o de servicio de agua caliente, podrá utilizarse cobre o acero inoxidable y materiales plásticos que soporten la temperatura máxima del circuito cumpliendo las normas UNE que le sean de aplicación y esté autorizada su utilización por las compañías de suministro de agua potable.

En la instalación de estudio se utilizarán tuberías de cobre tanto para el circuito primario como para el secundario, suministradas en tubos estirados en frío y soldados por capilaridad.

El Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE, en el anexo VII, “Componentes”, en su apartado VII.e, “Tuberías”, indica que el dimensionado de las tuberías se realizará de forma que la pérdida de carga unitaria en tuberías nunca sea superior a 40 mmca por metro lineal, sin admitirse pérdidas de carga superiores a 7 mca en el circuito primario ni en el secundario. También se indica en este mismo apartado que la velocidad de circulación del fluido por las tuberías será inferior a 2 m/s cuando la tubería discorra por locales habitados e inferior a 3 m/s cuando el trazado sea por el exterior del local.



De esta forma, para nuestra instalación se ha considerado el siguiente esquema:

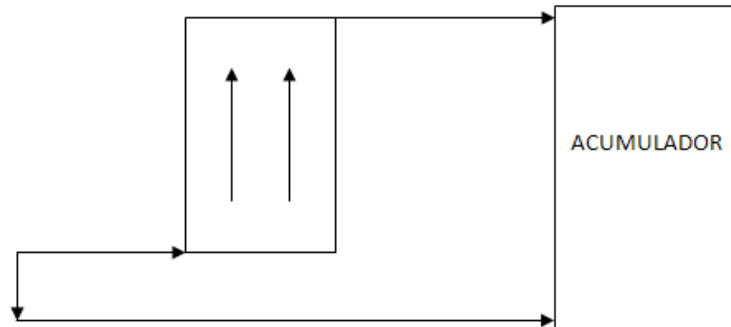


Figura 1.73. Esquema básico de circuito primario

Como la instalación proyectada es de un solo panel, se observa que no existen diferentes tramos de tuberías, por lo que todo el circuito tendrá igual diámetro.

La selección del diámetro de las tuberías se realizará utilizando ábacos como el de la figura, que da la pérdida por rozamiento (mm de columna de agua por metro) para tubería de cobre (diámetro interior en milímetros):

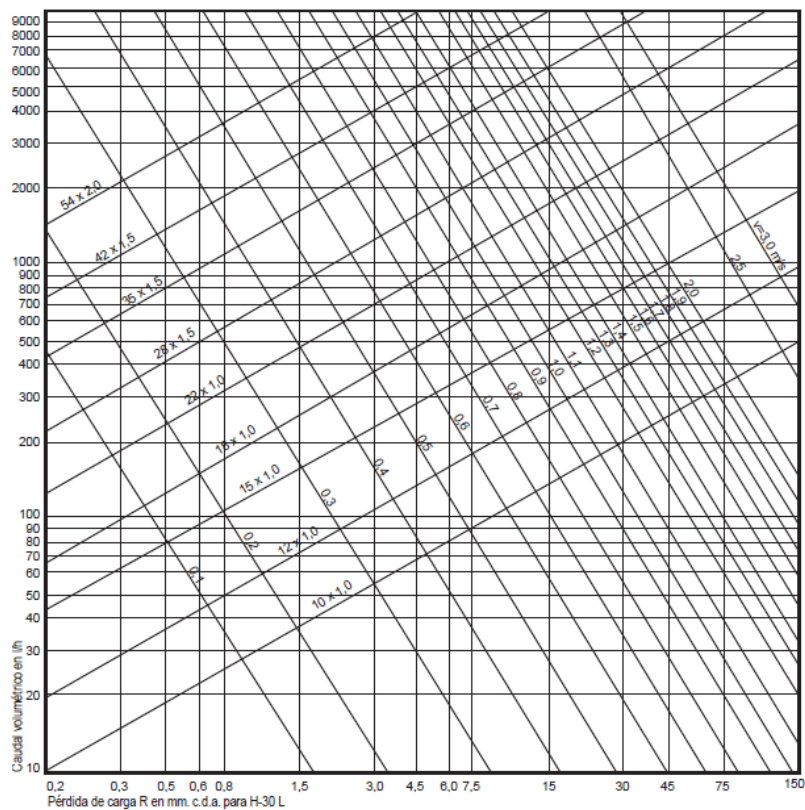


Figura 1.74. Diagrama de fricción para tubos de cobre

Mediante este ábaco se determina el diámetro de la tubería basándose en las siguientes magnitudes:

- Pérdida de carga
- Caudal de circulación
- Velocidad de circulación del fluido

Antes de proceder al cálculo del diámetro de las tuberías se debe estimar el caudal al que trabajará la instalación.





El caudal recomendado por el fabricante de los paneles es de 35 (30-40) litros por hora y por metro cuadrado de colector cuando el fluido caloportador es agua; o lo que es lo mismo:

$$35 \text{ ltr/h} \cdot \text{m}^2 * 2,4 \text{m}^2 = 84 \text{ ltr/h} * \text{colector}$$

Para otros fluidos, como el que se utilizará en la instalación, se deberá dividir este valor por el calor específico correspondiente, es decir $0,9 \text{ Kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$:

$$\text{Caudal} = (84 \text{ litros/hora} * \text{colector}) / 0,9 \text{ Kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} = 1, = 93,34 \text{ litros/hora}$$

Se ha despreciado la diferencia entre caudal másico y caudal volumétrico ya que los valores obtenidos apenas varían por ser la densidad de la mezcla cercana a 1g/cm^3 .



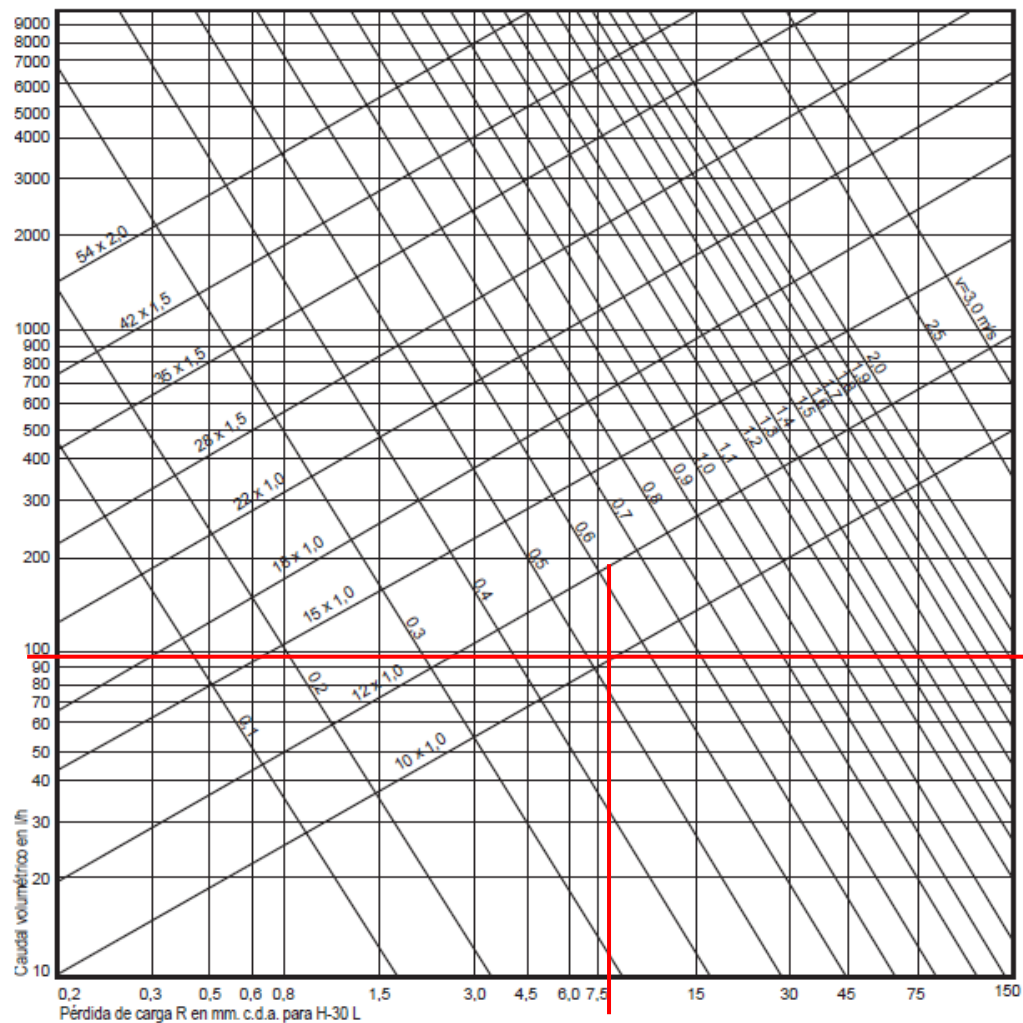


Figura 1.75. Diagrama de fricción para tubos de cobre para 93,34 litros/hora

Se ha fijado la pérdida de carga unitaria máxima de 8 mmca por metro para realizar los cálculos por ser la mayor pérdida de carga para ese caudal.

La intersección de las dos rectas da el diámetro interior de las tuberías, que en este caso será de **10 mm de diámetro interior y 12 mm de diámetro exterior.**





Aislamientos:

A continuación se determinarán los diámetros necesarios para los aislamientos de las tuberías:

Los espesores de aislamiento de tuberías y accesorios situados en el interior no serán inferiores a los fijados en la tabla siguiente:

FLUIDO INTERIOR CALIENTE				
Diámetro exterior de la tubería sin aislar (mm)	Temperatura del fluido (°C)			
	40 a 65	66 a 100	101 a 150	151 a 200
D≤35	20	20	30	40
35<D≤60	20	30	40	40
60<D≤90	30	30	40	50
90<D≤140	30	40	50	50
140<D	30	40	50	60

Tabla 1.76. Espesor aislamiento en función del diámetro exterior de la tubería

Para instalaciones de ACS y calefacción se emplearán los datos de la primera columna.

Para tuberías y accesorios situados en el exterior los valores de la tabla anterior se incrementarán en 10 mm como mínimo.

Debido a que las tuberías correspondientes al circuito primario de la instalación transcurrirán por el exterior de la vivienda, unidas mediante abrazaderas a la fachada, el espesor del aislamiento será de **40 mm**.





Longitud:

Según los planos de la vivienda se estima la distancia de tubería necesaria para el circuito primario de la siguiente forma:

- Ida acumulador a colectores:

Según puede observarse en los planos la altura del edificio es de 8.3 metros y la distancia a recorrer por el tejado de 6 metros aproximadamente, por lo que la longitud total de la tubería de ida desde el acumulador a los colectores es de 18 metros.

- Retorno colectores a acumulador:

La longitud de la tubería de retorno será la misma que la de ida del acumulador a los colectores más la longitud del lado del colector, que según especificaciones del fabricante es de 2.124 mm, es decir 2,13 metros aproximadamente, por lo que la longitud total de la tubería de retorno será de 20 metros.

De esta forma se establece que la longitud total de tubería de 10 / 12 mm de diámetro es de **38 metros**.



1.3.3.4.2.4. VASO DE EXPANSIÓN

Los vasos de expansión son elementos utilizados en circuitos de calefacción o distribución de agua caliente de edificios para absorber el aumento de volumen que se produce al expandirse el fluido caloportador que contiene el circuito debido al calentamiento del mismo.

Los vasos de expansión a instalar serán cerrados y se conectarán preferentemente en la aspiración de la bomba.

El vaso de expansión cerrado está formado por dos zonas: una en contacto con el circuito primario de calefacción y por tanto llena de agua y una segunda zona llena de aire o gas nitrógeno en su caso. Estas zonas están separadas por una membrana impermeable. Cuando el agua se expande, aumentando de volumen, la membrana cede comprimiendo el aire y logrando una presión de funcionamiento estable. Este tipo de vaso produce una sobrepresión en el circuito, cuestión que debe de estar prevista para que no dañe sus componentes. Su ventaja es que puede estar en el mismo local que las calderas y por lo tanto al abrigo de las heladas.



La tubería de conexión del vaso de expansión cerrado no se aislará térmicamente y tendrá volumen suficiente para que el fluido se enfríe antes de alcanzar el vaso.



Para la selección del vaso de expansión se utilizarán los siguientes datos:

- Volumen total del fluido en la instalación, en litros.
- Temperatura mínima de funcionamiento, para la que asumiremos el valor de 4°C, a la que corresponde la máxima densidad.
- Temperatura máxima que puede alcanzar el fluido durante el funcionamiento de la instalación.
- Presiones mínima y máxima de servicio.

El volumen total del vaso y la presión nominal PN son los datos que definen sus características de funcionamiento. Los vasos de expansión cerrados cumplirán con el Reglamento de Recipientes a Presión.

La temperatura extrema del circuito primario será, como mínimo, la temperatura de estancamiento del colector.

El volumen de dilatación será, como mínimo, igual al 4,3% del volumen total de fluido caloportador en el circuito primario.

El vaso de expansión se dimensionará de forma que la presión mínima en frío en el punto más alto del circuito no sea inferior a 1,5 kg/cm² y la presión máxima en caliente en cualquier punto del circuito no supere la presión máxima de trabajo de los componentes de la instalación.





DIMENSIONADO DEL VASO DE EXPANSIÓN:

Para el cálculo del volumen del vaso de expansión necesario para el circuito primario de nuestra instalación solar térmica seguiremos lo indicado en la Instrucción UNE 100-155-88.

Según esta instrucción, para un vaso de expansión cerrado con fluido en contacto directo (con diafragma) con un gas presurizado, el volumen total del vaso se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_t = V * C_e * C_p$$

Donde:

V_t = Volumen total del vaso de expansión.

V = Contenido total de fluido caloportador en el circuito primario de la instalación solar.

C_e = Coeficiente de dilatación del fluido caloportador.

C_p = Coeficiente de presión del gas.

Se comienza calculando el volumen de fluido caloportador de la instalación solar, V, en litros. Para ello, se multiplica la longitud de la tubería del circuito primario por el área de dicha tubería.





$38 \text{ metros} \cdot (10/2)^2 \cdot \pi = 2,98 \text{ litros} \approx \mathbf{3 \text{ litros de fluido caloportador en las tuberías.}}$

De la hoja de características del colector seleccionado para nuestra instalación, **Termicol T25S**, se observa que el volumen de fluido caloportador contenido en los colectores es de **1,27 litros**.

Como la instalación está formada por un solo colector:

Volumen total de fluido caloportador en colectores = **1,27 litros**

Con todos estos datos, se establece que el volumen total de fluido caloportador en el circuito primario de la instalación solar será:

$$\mathbf{V = 3 + 1,27 \approx 4,3 \text{ litros}}$$

El siguiente paso será calcular el coeficiente de presión del gas, C_p . Este coeficiente representa la relación entre el volumen total, V_t , y el volumen útil, V_u , del vaso de expansión.

Se obtiene mediante la fórmula:

$$\mathbf{C_p = P_M / (P_M - P_m)}$$

Donde:

C_p = Coeficiente de presión del gas

P_M = Presión máxima en el vaso.

P_m = Presión mínima en el vaso (presión inicial de nitrógeno del vaso de expansión).





La Instrucción UNE 100-155-88 dice que la presión máxima de funcionamiento, P_M , será ligeramente menor que la presión de tarado de la válvula de seguridad, P_{VS} , que a su vez, será inferior a la menor entre las presiones máximas de trabajo, a la temperatura de funcionamiento, de los equipos y aparatos que forman parte del circuito.

El fabricante de los colectores que hemos seleccionado para nuestra instalación, Termicol, nos indica que la presión de trabajo del primario debe ser de **6 bares**, por lo que la presión de tarado de la válvula de seguridad colocada en la entrada de cada una de las baterías de colectores será de **6 bares**. $P_{VS} = 6 \text{ bares}$.

Una vez conocida la presión de tarado de la válvula de seguridad, para el cálculo de la presión máxima en el vaso se elegirá el menor de los siguientes valores:

- $PM = 0,9 * 6 = 5,4$
- $PM = 6 + 0,65 = 6,65$

En este caso la presión máxima en el vaso elegida será de **5,4 bares**.

La presión mínima de funcionamiento en el vaso, P_m , se calculará mediante la expresión:

$$P_m = 1,5\text{bar} + 0,1 * h$$

Donde h es la altura estática de la instalación en metros.





En la instalación del proyecto el vaso de expansión se encontrará situado en el sótano, mientras que los colectores se encuentran situados en la cubierta, el tejado del edificio, a una altura aproximada de 9 metros.

Por lo que la presión mínima de funcionamiento del vaso valdrá:

$$P_m = 1,5 + 0,1 \cdot 9 = 2,4 \text{ bar}$$

Conocidas las presiones máxima y mínima en el vaso, el coeficiente de presión resulta:

$$C_p = P_M / (P_M - P_m) = 5,4 / (5,4 - 2,4) = 1,8$$

El último paso del proceso de cálculo del vaso de expansión será calcular el coeficiente de expansión o dilatación, C_e , del fluido caloportador. Este coeficiente es siempre positivo y menor que la unidad y representa la relación entre el volumen útil del vaso de expansión, V_u , que debe ser igual al volumen del fluido expansionado, y el volumen de fluido contenido en la instalación.

El coeficiente de dilatación de la mezcla depende de su composición y del salto térmico, si consideramos la dilatación desde 4°C hasta 100°C, el valor para agua sin aditivos, es igual a 0,043. En el caso de que se utilice agua con anticongelante y no se disponga de información concreta respecto a la dilatación de la mezcla, podemos tomar un valor igual a 0,08.

$$C_e = 0,08$$



Con todos estos datos podemos calcular el volumen total del vaso de expansión tal y como se ha descrito inicialmente:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_p = 4,3 \cdot 0,08 \cdot 1,8 = 0,62 \text{ litros}$$

Pese a que el volumen de fluido expandido es muy pequeño se instalará un vaso de expansión en el circuito primario por ser un elemento de seguridad importante y no conlleva un incremento excesivo en el coste de la instalación.

Se instalará un vaso de expansión de **8 litros**, cuyas características se describen en la siguiente figura:



	Código	Artículo	Capacidad lts.	Presión máx. trabajo	Presión precarga bar	D mm	H mm	H1 mm	Conexión de agua Ø DIN 259
	AC 04 001	5 AMR-E	5	10	1,5	200	265	—	¾"
	AC 04 008	5 AMR-E	5	10	1,5	200	265	—	1"
	AC 04 005	24 AMR-E	24	8	1,5	350	410	—	¾"
	AA 15 205	24 AMR-E	24	8	1,5	350	410	—	1"
	AC 04 016	8 AMR	8	10	1,5	200	350	—	1"
	AC 04 017	15 AMR	15	10	1,5	270	320	—	1"
	AC 04 018	20 AMR	20	10	1,5	270	425	—	1"
	AC 04 020	50 AMR	50	10	1,5	360	620	—	1"

Figura 1.77 Datos técnicos vaso de expansión

- Temperatura máxima de funcionamiento es de: 383 K (110°C).
- Acabado exterior fosfatado, pintado y secado al horno.
- Pintado en color rojo RAL-3.013.





1.3.3.4.3. SISTEMA DE ACUMULACIÓN

1.3.3.4.3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

La necesidad de energía no siempre va a coincidir en el tiempo con la captación que obtendremos del Sol, por lo que es imprescindible disponer de un sistema de almacenamiento para hacer frente a la demanda en momentos de poca o nula insolación, como por ejemplo, durante la noche o en días nublados.

A un buen sistema de almacenamiento se le deberá exigir:

- Alta capacidad calorífica.
- Volumen reducido.
- Temperatura de utilización acorde con la necesidad concreta.
- Respuesta rápida a la demanda.
- Buena integración en el edificio.
- Bajo coste.
- Seguridad.
- Larga duración.

Almacenar energía mediante agua caliente tiene muchas ventajas. Es barata, fácil de manipular, tiene un alto calor específico y, para el caso de ACS, es al mismo tiempo el elemento de consumo.





Materiales:

El tipo de material para el acumulador depende de varios factores, como el tipo de aplicación, lugar donde se vaya a ubicar, coste, vida media calculada y facilidad de mantenimiento.

Los materiales más usados son el acero, acero inoxidable, aluminio y fibra de vidrio reforzada; siendo el más utilizado de todos es el acero, ya que es barato, pero necesita una protección interior contra la corrosión mediante la utilización de pinturas tipo epoxi, vitrificado, ánodo de magnesio, galvanizado en caliente (en este caso la temperatura de almacenamiento no podrá superar los 65°C), etc. El mejor material es el acero inoxidable, aunque es bastante caro. El aluminio, aunque su precio es asequible, presenta problemas de corrosión graves, por lo que su utilización no es muy aconsejable.

Forma:

La forma de los acumuladores suele ser cilíndrica por su facilidad de construcción, siendo la dimensión vertical (altura) mayor que la horizontal (diámetro), para favorecer el fenómeno de la estratificación.

La densidad del agua disminuye al aumentar su temperatura, por lo tanto cuanto mayor sea la altura del depósito acumulador, mayor será la diferencia entre la temperatura en la parte superior e inferior de este, es decir, mayor será la estratificación.



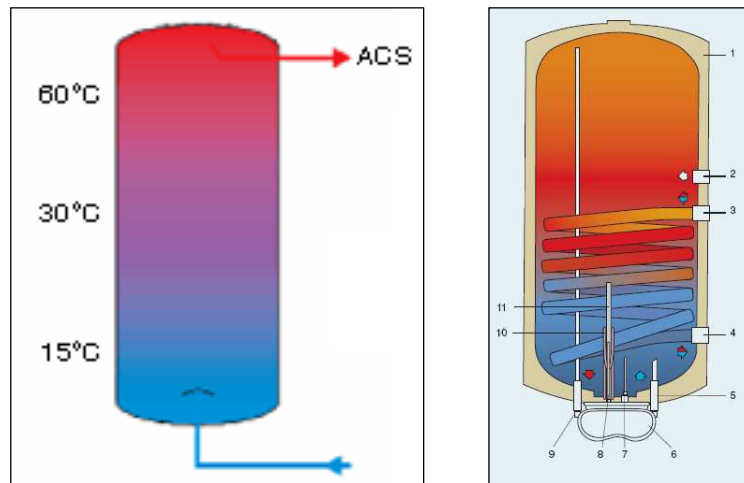


Figura 1.78 Estratificación en acumulador sin y con intercambiador

Los acumuladores verticales además de favorecer la estratificación, ocupan menos espacio, aprovechando mejor la altura de las habitaciones con el consiguiente ahorro económico en el soporte o anclaje.

Los acumuladores serán preferentemente de configuración vertical y se ubicarán en zonas interiores.

Aplicaciones de ACS:

En aplicaciones de ACS, y si el sistema de energía auxiliar no está incorporado en el acumulador solar, será necesario realizar un conexionado entre el sistema auxiliar y el solar de forma que se pueda calentar este último con el auxiliar, para poder cumplir con las medidas de prevención de la legionelosis.



Conexiones:

Para aprovechar al máximo la energía captada y evitar la pérdida de estratificación por temperatura en los acumuladores, la situación de las tomas para las diferentes conexiones serán las siguientes:

- La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador o de fluido caliente de los colectores al acumulador se realizará, preferentemente, a una altura comprendida entre el 50% y el 75% de la altura total del mismo.
- La conexión de salida de agua fría del acumulador hacia el intercambiador o de fluido frío a los colectores se realizará por la parte inferior de este.
- En caso de una sola aplicación, la entrada de agua fría de la red al acumulador se realizará por la parte inferior. La extracción de agua caliente del acumulador se realizará por la parte superior.
- En caso de varias aplicaciones (solar y auxiliar) dentro del mismo depósito habrá que tener en cuenta los niveles térmicos de estas, de forma que tanto las entradas como las salidas para aplicaciones que requieran un mayor nivel térmico en temperaturas estén por encima de las que requieran un nivel menor.
- Es recomendable que la entrada de agua fría de la red esté equipada con una placa deflectora para evitar que la velocidad residual destruya la estratificación en el acumulador.





El acumulador se llamará interacumulador cuando lleve incorporada una superficie de intercambio térmico entre el fluido primario y el agua sanitaria, en forma de serpentín o comisa de doble envolvente. Si el interacumulador está incorporado en el acumulador, la placa de identificación de este indicará la superficie de intercambio térmico en m^2 y la presión máxima de trabajo del circuito primario.

Cada acumulador vendrá equipado de fábrica de los necesarios manquitos de acoplamiento, soldados antes del tratamiento de protección, para las siguientes funciones:

- Manguitos roscados para entrada de agua fría y salida de agua caliente.
- Registro embridado para inspección del interior del acumulador y eventual acoplamiento del serpentín.
- Manguitos roscados para la entrada y la salida del fluido primario.
- Manguitos roscados para accesorios como termómetro, termostato y sensor de temperatura.
- Manguito para vaciado.

Aislamiento:

El acumulador estará completamente recubierto con material aislante, y se recomienda disponer una protección mecánica en chapa pintada al horno o lámina de material plástico.





Todos los acumuladores se protegerán, como mínimo, con los dispositivos indicados en el punto 5 de la “Instrucción técnica complementaria MIE-AP-11” del Reglamento de Aparatos a Presión.

1.3.3.4.4.2. REQUISITOS PARA EL DIMENSIONADO

Solo podrán utilizarse acumuladores de las características y tratamientos descritos a continuación:

- Acumuladores de acero vitrificado de volumen inferior a 10.000 litros.
- Acumuladores con tratamiento de acero epoxídico.
- Acumuladores de acero inoxidable.
- Acumuladores de cobre.

Es muy importante conocer las medidas de los acumuladores, tanto si el edificio es de nueva planta, como si ya está construido.

En los edificios ya construidos, habrá que adaptarse a las dimensiones de puertas, anchos de pasillos y altura de la sala de máquinas, a la hora de escoger la capacidad y el número de acumuladores necesarios, o bien realizar las obras necesarias para poder introducirlos en la sala de máquinas. Si no existiese espacio suficiente en la sala de máquinas actual habría que construir una nueva o reformar y/o ampliar la existente.





El objetivo del acumulador es conseguir que el agua acumulada tenga suficiente energía calorífica para satisfacer las necesidades del usuario durante periodos breves de ausencia o escasez de radiación solar, casi nunca superiores a un día. Pasado dicho periodo se debería hacer uso de otra energía de apoyo de la solar para poder seguir disfrutando de agua caliente sanitaria.

1.3.3.4.4.3. SELECCIÓN DEL ACUMULADOR

La sección HE 4 del documento básico HE del CTE, en el punto 3.3.3.1, nos indica que para la aplicación de ACS, el área total de los colectores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < V/A < 180$$

Donde:

A = Superficie colectora en metros cuadrados.

V = Volumen del depósito de acumulación en litros.

El valor recomendado para el volumen de acumulación solar será aproximadamente igual a la carga de consumo diaria.

En nuestro caso, la carga de consumo diaria será:

$$4 \text{ personas} \times 45 \text{ litros por persona y día} = 180 \text{ litros}$$



Partiendo del cálculo anterior, se establece un volumen de acumulación alrededor de los **180 litros**.

El fabricante de los colectores seleccionados, Termicol, en sus especificaciones técnicas, ofrece una relación entre el sistema de captación seleccionado y el sistema de acumulación recomendado, tal y como se detalla a continuación:

Modelo	Sistema de Captación				Modelo de Acumulador	Material de estructura
	Modelo	Nº capt.	Absorbedor	Área total (m²)		
TIG1/150S	T20S-R	1	Selectivo	1,9 m²	AT 150 ESI	ACERO GALVANIZADO
TIA1/150S						ALUMINIO
TKG1/150S	T20S-R	1	Selectivo	1,9 m²	AT 150 S	ACERO GALVANIZADO
TKA1/150S						ALUMINIO
TIG1/200S	T25S-R	1	Selectivo	2,4 m²	AT 200 ESI	ACERO GALVANIZADO
TIA1/200S						ALUMINIO
TKG1/200S	T25S-R	1	Selectivo	2,4 m²	AT 200 S	ACERO GALVANIZADO
TKA1/200S						ALUMINIO
TIG2/300S	T20S-R	2	Selectivo	3,8 m²	AT 300 ESI	ACERO GALVANIZADO
TIA2/300S						ALUMINIO
TKG2/300S	T20S-R	2	Selectivo	3,8 m²	AT 300 S	ACERO GALVANIZADO
TKA2/300S						ALUMINIO
TIG3/500S	T20S-R	3	Selectivo	5,7 m²	AT 500 ESI	ACERO GALVANIZADO
TIA3/500S						ALUMINIO
TIG4/500S	T20S-R	4	Selectivo	7,6 m²	AT 500 ESI	ACERO GALVANIZADO
TIA4/500S						ALUMINIO
TIG4/800S	T25S-R	4	Selectivo	9,6 m²	AT 800 ESI	ACERO GALVANIZADO
TIA4/800S						ALUMINIO
TIG5/800S	T25S-R	5	Selectivo	11,9 m²	AT 800 ESI	ACERO GALVANIZADO
TIA5/800S						ALUMINIO
TIG5/1000S	T25S-R	5	Selectivo	12,0 m²	AT 1000 ESI	ACERO GALVANIZADO
TIA5/1000S						ALUMINIO
TIG6/1000S	T25S-R	6	Selectivo	14,4 m²	AT 1000 ESI	ACERO GALVANIZADO
TIA6/1000S						ALUMINIO



Modelo	Capacidad
AT150 S	150L
AT200 S	200L
AT300 S	300L
AT500 S	500L
AT800 S	800L
AT1000 S	1000L

Figura 1.79. Datos acumulador



Según especificaciones del fabricante de los colectores, Termicol, y partiendo del modelo de captador seleccionado, **T25S/R**, se ha seleccionado un acumulador vertical sobre suelo con intercambiador de serpentín integrado de volumen de acumulación **200 litros**.

Se ha optado por un acumulador de la marca Lapesa, más concretamente el modelo CV-200-M1, fabricado de acero vitrificado para evitar problemas de oxidación y corrosión y garantizar así la vida del depósito. Se trata de un depósito individual para producción y acumulación de A.C.S. de instalación vertical sobre suelo, fabricado en acero vitrificado, según DIN 4753. Tiene una capacidad de 200 litros con un serpentín interno para producción de ACS.

Incorpora de serie panel de control modelo TS con termómetro, termostato de regulación de temperatura y piloto indicador de funcionamiento, y ánodo de magnesio con medidor de carga, para la protección catódica del depósito que se debe verificar una vez al año.

Está aislado térmicamente con espuma rígida de poliuretano inyectada en molde, libre de CFC y acabado exterior con forro acolchado desmontable, color blanco RAL 9016 y tapas color gris RAL 7035.



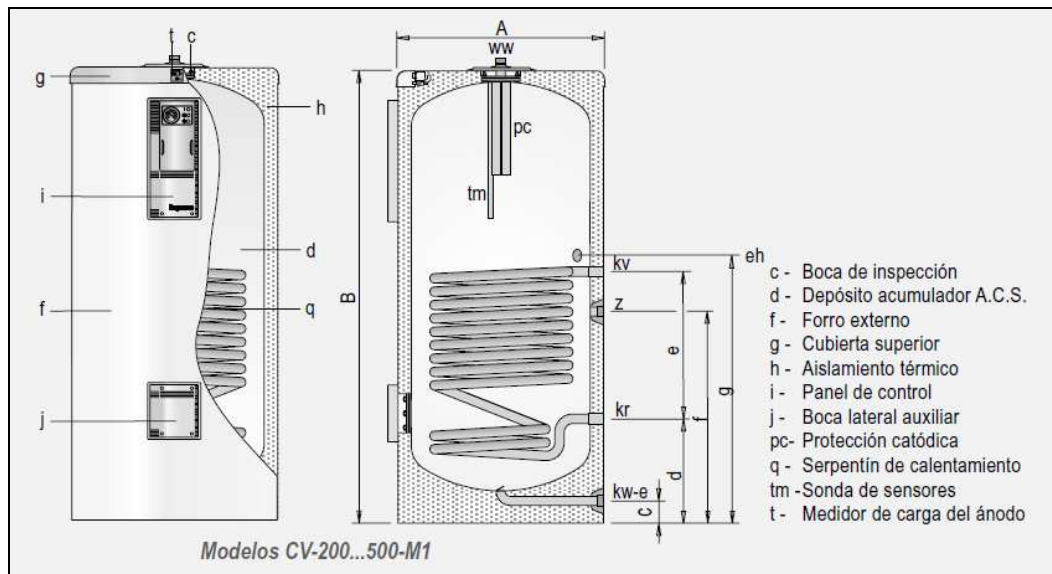


Figura 1.80. Detalle acumulador

Características técnicas /Conexiones /Dimensiones		CV-200-M1
Capacidad de A.C.S.	litros	200
Temperatura máxima depósito de A.C.S.	°C	90
Presión máxima depósito de A.C.S.	bar	8
Temperatura máxima circuito de calentamiento	°C	200
Presión máxima circuito de calentamiento	bar	25
Superficie de intercambio circuito de calentamiento	m ²	1.4
Peso en vacío (aprox.)	Kg	85
kw/e:	Entrada agua fría / desagüe	"GAS/M
ww:	Salida A.C.S.	"GAS/M
z::	Recirculación	"GAS/M
kv:	Avance circuito primario	"GAS/H
kr:	Retorno circuito primario	"GAS/H
eh:	Conexión lateral	"GAS/M
Cota A:	Diámetro exterior	mm
Cota B:	Longitud total	mm
Cota c:		mm
Cota d:		mm
Cota e:		mm
Cota f:		mm
Cota g:		mm

Figura 1.81. Características técnicas acumulador

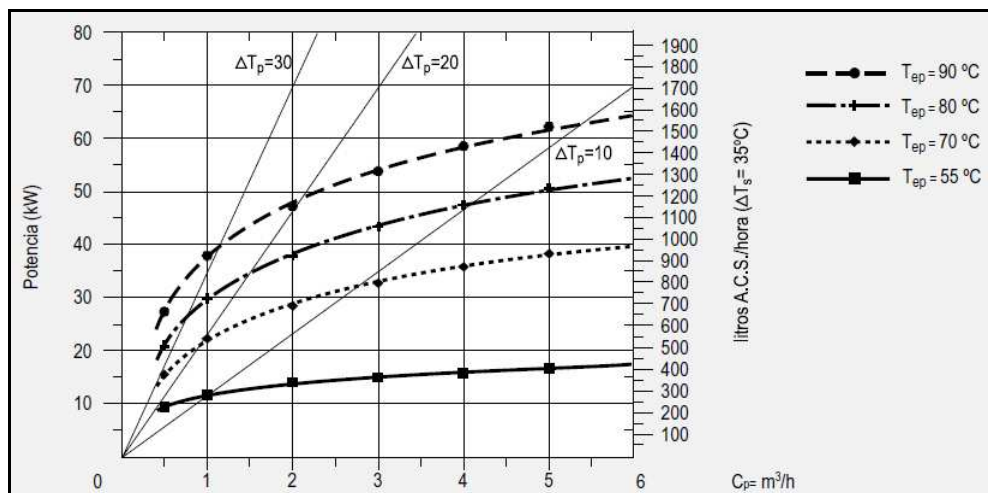


Conocido este dato y la superficie colectora de la instalación en estudio, verificamos que se cumple la condición antes establecida: $50 < V/A < 180$

$$50 < 200/2,4 = 83,33 < 180$$

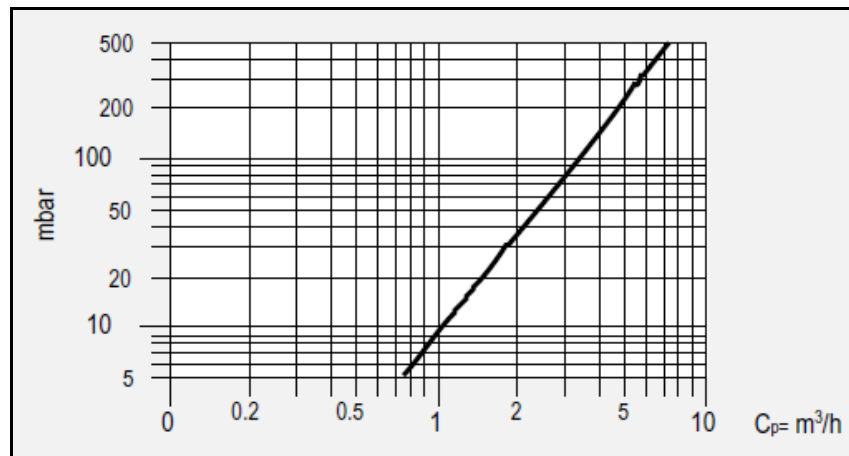
Comprobamos que estamos dentro de la condición.

Además, este resultado está acorde con lo que nos indica el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE, en su apartado 3.1, donde se indica que para instalaciones con fracciones solares bajas, se deberá considerar el uso de relaciones V/A pequeñas.



Gráfica 1.82. Curva de potencia para diferentes caudales y temperatura de circuito primario para producción de ACS.





Gráfica 1.83. Pérdidas de carga entre conexiones de entrada y salida de circuito primario para diferentes caudales de circulación.

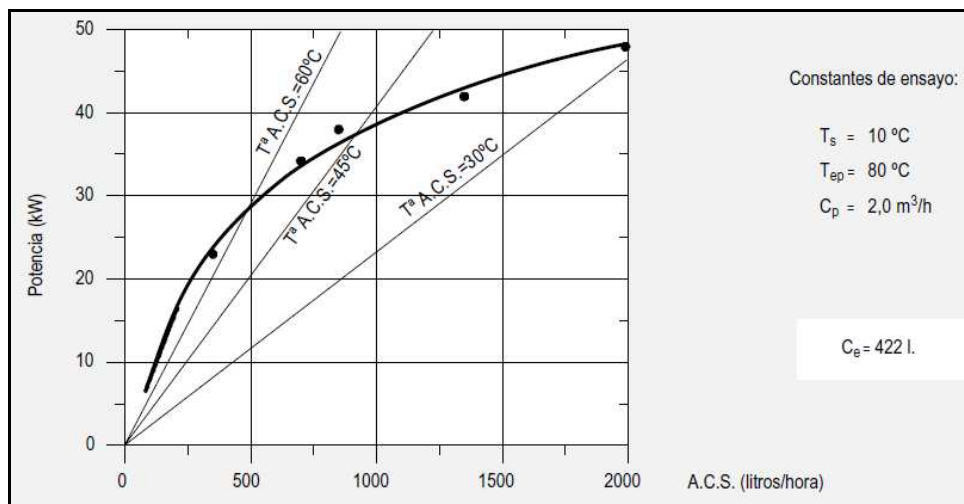


Figura 1.84. Curva de producción continua de ACS a diferentes temperaturas y caudal del circuito primario predeterminado



La cantidad total de anticongelante a utilizar se determina en la siguiente gráfica teniendo en cuenta que se ha optado por un acumulador de 200 litros.

ACUMULADOR	Fluidosol concentrado (Litros)
150 Litros	7,2
200 Litros	7,9
300 Litros	9,6
500 Litros	11,2
800 Litros	14,9
1000 Litros	18,2

Tabla 1.85. Volumen de anticongelante para acumulador de 200 litros

1.3.3.4.4. INTERCAMBIADOR DE CALOR

El intercambiador de calor es un dispositivo que se introduce en una instalación solar cuando se necesitan dos circuitos independientes. Se utilizarán en:

- Instalaciones de ACS en las que se desea que no pase el agua sanitaria por los colectores, para evitar riesgos de heladas, incrustaciones, corrosión del circuito, sobrepresiones,...
- Instalaciones de calefacción con almacenamiento térmico por agua caliente, en las que se quiere limitar la cantidad de anticongelante necesario, gracias a un circuito primario de volumen reducido.





- Instalaciones de ACS y calefacción en las que el ACS y el sistema de distribución de calefacción se calientan en un interacumulador.

De los datos técnicos aportados por el fabricante se establece que el intercambiador de serpentín tiene una superficie de intercambio de **1,4 m²**.

1.3.3.4.4. BOMBAS DE CIRCULACIÓN

Se instalará una bomba de circulación en el circuito primario para producir la presión necesaria para la circulación del agua y del fluido caloportador, evitando que el fluido caliente se estanque y produzca averías.

Las bombas podrán ser de diferentes tipos: en línea, de rotor seco o húmedo o de bancada.

Se utilizarán bombas tipo circuladoras en línea que se montarán en las zonas más frías del circuito, teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.

En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión, a las averías producidas por incrustaciones calizas, a la presión máxima del circuito y serán compatibles con el fluido de trabajo.





DIMENSIONADO DE LA BOMBA DE CIRCULACIÓN DEL CIRCUITO PRIMARIO:

Para el correcto dimensionado de la bomba de circulación es necesario saber el caudal de fluido que debe circular por la instalación y las pérdidas de carga total de la instalación que la bomba tiene que vencer, es decir:

- Las pérdidas de carga en la red de tuberías (lineales).
- Las pérdidas de carga locales en accesorios.
- Las pérdidas de carga en colectores.
- Las pérdidas de carga en el intercambiador.

Caudal de fluido:

Según lo especificado en el dimensionado de las tuberías del circuito primario, el caudal de fluido caloportador que circulará por dicho circuito será de 93,34 litros/hora.

Pérdida de carga en la red de tuberías:

Las pérdidas de carga en la red de tuberías se calculan multiplicando la pérdida de carga unitaria por metro, **que hemos fijado en 8 mmca por metro**, por la longitud total de tubería.





Se realiza el cálculo para el colector o batería de colectores más alejado de la bomba, ya que si la bomba a seleccionar es capaz de vencer las pérdidas de carga para dicha batería, lo será también para cualquiera de las baterías restantes de la instalación, debido a que el camino de ida y retorno para el fluido es igual.

Se ha estimado una longitud total de la tubería del circuito primario de 38 metros, por lo que la pérdida de carga total será:

$$\text{Pérdida de carga unitaria} = 8 \text{ mmca/m} * 38 \text{ m} = 304 \text{ mmca.}$$

Pérdida de carga locales en accesorios:

El cálculo de las pérdidas de carga locales en accesorios se realizará por el procedimiento de expresar estas como un % de las pérdidas de carga lineales de la instalación. Generalmente se fija entre un 20% y un 30%, dependiendo de la cantidad de curvas y complejidad de la instalación.

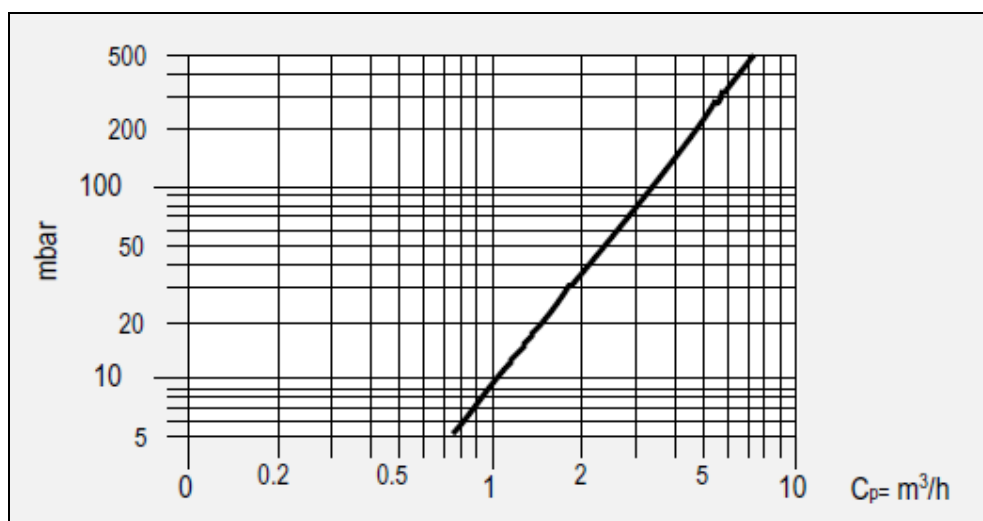
En esta instalación se fijarán en un 30% de las pérdidas de carga lineales de las tuberías, es decir:

$$0,3 * 304 \text{ mmca} = 91,2 \text{ mmca}$$



Pérdida de carga en el intercambiador:

Las pérdidas de carga en el intercambiador es un dato que nos facilita el fabricante del mismo; en este caso, Lapesa nos facilita la siguiente gráfica:



Gráfica 1.86 Pérdidas de carga entre conexiones de entrada y salida de circuito primario para diferentes caudales de circulación.

Según la gráfica de pérdidas de carga entre conexiones de entrada y salida de circuito primario para diferentes caudales de circulación, se establece que la pérdida de carga para el caudal del circuito primario de la instalación (93,4 litros/hora = 0,0934 m³/h) es de 5 mbar, **50 mmca**.





Pérdida de carga total en el circuito primario de la instalación:

Conocidos los datos anteriores se calcula la pérdida de carga total, que es el sumatorio de las tres pérdidas citadas anteriormente, de forma que:

$$\begin{aligned} \text{Pérdida de carga total} &= \sum \text{Pérdida de carga elementos} = \\ &= 304 \text{ mmca} + 91,2 \text{ mmca} + 50 \text{ mmca} = 445,2 \text{ mmca}. \end{aligned}$$

Selección de la bomba:

Una vez calculado el valor definitivo de la pérdida de carga total que tendrá que vencer la bomba (**445,2 mmca**), ésta se seleccionará según las curvas características de los diferentes modelos, teniendo en cuenta que el caudal unitario que debe suministrar es de unos 94 litros/hora para el caso de fluido caloportador con anticongelante.

Se ha seleccionado la bomba circuladora de rotor húmedo de la marca WILO, modelo Wilo-Star-Z. Dicha bomba está diseñada para sistemas de reticulación de ACS y sistemas del mismo tipo en el campo de la industria y edificación, instalándose mediante conexión roscada.





Figura 1.87. Bomba de circulación de rotor húmedo Wilo-Star-Z

Características del producto:

- Bomba de motor monofásico con conexión eléctrica rápida.
- Todos los componentes de material sintético que están en contacto con el fluido cumplen los requisitos KTW
- Aislamiento térmico de serie para Star-Z 15.

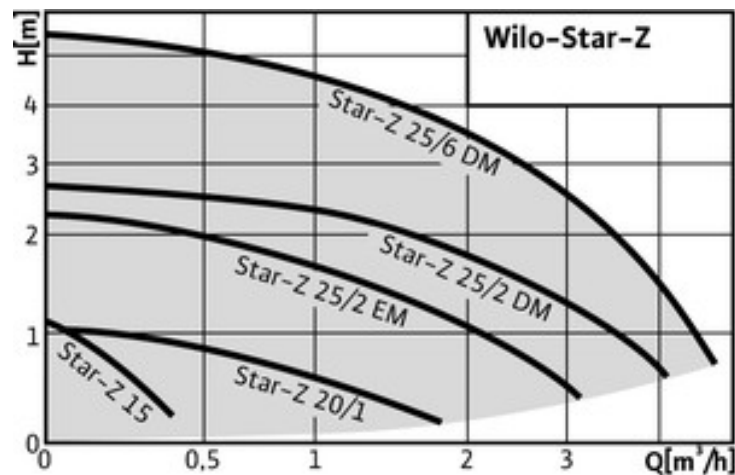


Figura 1.88. Gráfica de caudal – pérdida de carga de las bombas WILo-Star

Datos básicos técnicos

- Rango de temperaturas permitido: Agua potable hasta 18 °dH máx. +65 °C, en el servicio de corta duración (2 h) hasta +70 °C. Agua de calefacción: 10 °C a +110 °C.
- Agua potable hasta 18 °dH: máx. +65 °C, en el servicio de corta duración (2h) hasta +70 °C.
- Agua de calefacción: -10 °C a +110 °C
- Alimentación eléctrica 1~230 V, 50 Hz.
- Tipo de protección IP 44.
- Conexión roscada Rp ½, Rp 1
- Presión de trabajo máx. 10 bar





Materiales

- Carcasa de la bomba: Star-Z 15, latón; Star-Z 20... 25, bronce
- Rodete: Plástico
- Eje: acero inoxidable
- Cojinete: Carbono, impregnado con resina sintética

1.3.3.4.5. AISLAMIENTO

El aislamiento de todos los elementos que puedan tener pérdidas caloríficas es fundamental en una instalación de energía solar térmica de cara a mejorar el rendimiento de la instalación.

En una instalación de energía solar se emplea aislamiento en varios lugares: la parte posterior y lateral de los colectores, las tuberías y accesorios, el electrocirculador, el intercambiador de calor y el acumulador.

La elección de un aislamiento viene determinada por varios factores, entre los que se pueden destacar:

- Bajo coeficiente de conductividad.
- Colocación sencilla.
- Ser ignífugo (no inflamable).
- Gama de temperaturas adecuada.





- No ser corrosivo.
- Ser estable y no enmohecerse.
- Buena resistencia mecánica.
- Peso específico reducido.

Los componentes de una instalación deberán disponer de un aislamiento térmico cuando contengan temperatura superior a 40°C y estén situados en locales no calefactados.

Los componentes que vengan aislados de fábrica tendrán el nivel de aislamiento marcado por la respectiva norma o por el fabricante.

El aislamiento en acumuladores cuya superficie sea inferior a 2 metros cuadrados tendrá un espesor mínimo de 30 mm y para superficies superiores el espesor mínimo será de 50 mm.

El espesor del aislamiento del intercambiador de calor no será inferior a 20mm.

Tal y como se ha establecido en el apartado 1.3.3.4.3. el acumulador seleccionado consta de aislamiento térmico de espuma rígida de poliuretano inyectada en molde, libre de CFC y acabado exterior con forro acolchado desmontable, color blanco RAL 9016 y tapas color gris RAL 7035.





Por lo que únicamente habrá que precisar el aislamiento correspondiente a las tuberías del circuito primario y los accesorios de dicho circuito. Las dimensiones de tal aislamiento se han estudiado en el apartado 1.3.3.4.2.3. Dicho aislamiento será de coquilla elastomérica de lana de vidrio de 12 mm de diámetro interior y espesor de 40 mm. Para una fácil colocación en la tubería, con el fin de disminuir tiempos de trabajo innecesarios, llevan practicada una apertura en su generatriz.

1.3.3.4.6. VALVULERÍA

A continuación se describen los tipos de válvulas utilizados en instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria y se incluye un listado aproximado de las válvulas necesarias para la instalación proyectada.

PURGADORES Y DESAIREADORES

El purgador en una instalación solar garantiza la expulsión de aire acumulado en determinados puntos de esta (puntos altos, cambios de nivel de las tuberías, sifones, etc.), mediante un mecanismo compuesto de flotador y válvula actuando automáticamente al descender el nivel del fluido cuando este arrastra aire, expulsándolo a través de la apertura de la válvula.

Se debe tener en cuenta que la presencia de gases en un circuito puede dar lugar a la formación de bolsas de aire, que impiden que el fluido caloportador circule de forma correcta, y provocar corrosiones en las tuberías o en los propios colectores.



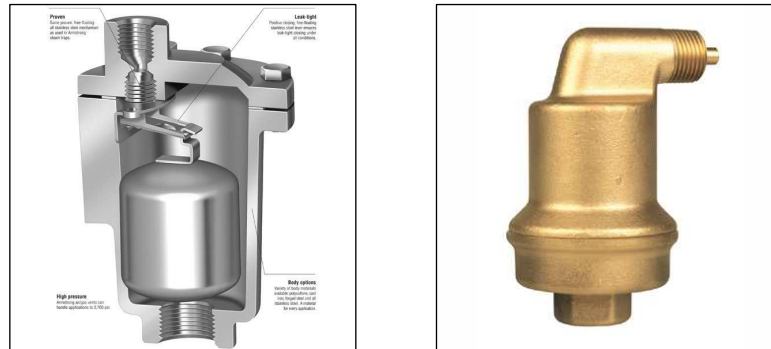


Figura 1.89 Purgador

Se debe colocar en el punto más alto de la instalación, que es el lugar donde se acumulan los gases al separarse del fluido caloportador.

El mecanismo de funcionamiento es muy sencillo; cuando no existe aire en la instalación, el flotador está elevado por el empuje del fluido, cerrando el orificio de purga. Si existe aire, baja el nivel del fluido, descendiendo el flotador. El aire es evacuado por el orificio superior.

Para asegurar que el aire disuelto en el fluido es evacuado hacia el exterior por el purgador, conviene colocar un elemento llamado separador de aire.

Se ubica en el punto más elevado de la instalación, a la salida de cada batería de colectores.



Figura 1.90 Separador de aire



Su funcionamiento es el siguiente: el separador de aire acelera el proceso de separación del aire contenido en el fluido gracias a la aplicación del principio de la fuerza centrífuga que se genera en su interior, impulsando el fluido hacia las paredes del recipiente permitiendo que el aire, al ser más ligero, permanezca en el centro y ascienda hacia la parte superior, donde es expulsado a través del purgador.

En los puntos más altos de la salida de baterías de colectores y en todos aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado, se colocarán sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático. El volumen útil del botellín de desaireación será 15 cm³ por m² de batería, con un mínimo de 100 cm³. Este volumen podrá disminuirse si se instala a la salida del circuito solar y antes del intercambiador un desaireador con purgador automático.

Se evitará el uso de purgadores automáticos cuando se prevea la formación de vapor en el circuito. Los purgadores automáticos deberán soportar, al menos, la temperatura de estancamiento del colector.

TERMÓMETRO:

En las instalaciones de energía solar se utiliza el termómetro para medir la temperatura del fluido, para lo cual dispondremos el punto más sensible del termómetro de forma que esté lo más en contacto posible con el fluido, pero sin que este lo bañe. Los tipos más usuales son los termómetros de contacto y los de inmersión.



Los termómetros de contacto suelen ser de abrazadera con los que se sujetan a las tuberías, mientras que los de inmersión tienen un bulbo que se introduce en el interior de la tubería dentro de una vaina.



Figura 1.91 Termómetro de contacto

MANÓMETRO E HIDRÓMETRO:

Son dispositivos que se usan para saber el valor de la presión dentro de una tubería o acumulador. Solo se diferencian en la escala en la que trabajan: el manómetro mide la presión en kg/cm² o bares y el hidrómetro la mide en mca.



Figura 1.92 Manómetro



Los hidrómetros se utilizan en circuitos o sistemas abiertos, mientras que en las instalaciones solares provistas de vaso de expansión cerrado se suelen utilizar manómetros, generalmente con escalas inferiores a 6 kg/cm².

VÁLVULAS:

La elección de las válvulas se realizará de acuerdo a la función que desempeñan y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura), siguiendo preferentemente los criterios que se indican en la tabla siguiente:

FUNCIÓN	TIPO
Aislamiento (corte)	Válvula de esfera
Equilibrado de circuitos	Válvula de asiento
Vaciado	Válvulas de esfera o macho
Llenado	Válvula de esfera
Purga de aire	Válvula de esfera o macho
Seguridad	Válvula de resorte
Retención	Válvula de clapeta o disco de doble compuerta

Tabla 1.93. Funciones de las válvulas según el tipo

No se permitirá la utilización de válvulas de compuerta.





El acabado de las superficies de asiento y obturador deberá asegurar la estanqueidad al cierre de las válvulas, para las condiciones de servicio especificadas.

El volante y la palanca deberán ser de dimensiones suficientes para asegurar el cierre y la apertura de forma manual aplicando una fuerza razonable, sin la ayuda de otros medios auxiliares. El órgano de mando no deberá interferir con el aislamiento térmico de la tubería y del cuerpo de la válvula.

Las superficies del asiento y del obturador deberán ser recambiables. La empaquetadura será recambiable en servicio, con la válvula abierta a tope, sin tener que desmontarla.

En el cuerpo de las válvulas irán troquelados la presión nominal PN, expresada en bares o kg/cm^2 , y el diámetro nominal DN, en mm o pulgadas, al menos cuando el diámetro sea mayor o igual a 25 mm.

La presión nominal mínima de todo tipo de válvulas y accesorios deberá ser igual o superior a 4 kg/cm^2 .

Las válvulas de seguridad, por su importancia, deberán ser capaces de derivar la potencia máxima del colector o grupo de colectores, incluso en forma de vapor, de forma que en ningún caso se sobrepase la máxima presión de trabajo del colector o del sistema.





Las válvulas de retención se situarán en la tubería de impulsión de la bomba, entre la boca y el manguito antivibratorio y, en cualquier caso, aguas arriba de la válvula de interceptación.

VALVULA DE SEGURIDAD

Las válvulas de seguridad actúan como elementos limitadores de la presión de los circuitos y son imprescindibles para proteger los componentes de la instalación (colectores, tuberías, acumuladores, etc.). Se deben colocar en todos los circuitos sometidos a presión y a variaciones de temperatura.

El tarado de la válvula, o presión a la que esta actúa dejando escapar el fluido, tendrá que ser inferior a la presión que pueda soportar el elemento más delicado del circuito que proteja, que en este caso es el vaso de expansión cerrado, o los colectores en el circuito primario y el depósito de acumulación en el secundario.

Su elección y colocación resulta fácil al existir en el mercado válvulas previamente taradas a una determinada presión.

Su funcionamiento es muy sencillo, constando básicamente de un muelle que es vencido por la sobrepresión del circuito. El tamaño de la válvula viene determinado por su diámetro de conexión al circuito y este se selecciona en función del tamaño de la instalación, según la normativa vigente en materia de seguridad.



Para los circuitos primarios, los tamaños más habituales son $\frac{1}{2}$ " , $\frac{3}{4}$ " y 1" y el para circuitos secundarios, por tener más capacidad que los primarios la evacuación en caso de sobrepresión tendrá que ser más rápida, por lo que las válvulas son mayores, generalmente de diámetro igual o superior a 1 $\frac{1}{2}$ ". Se colocarán para proteger depósitos acumuladores con capacidad igual o superior a 2000 litros.

Si se quiere saber cuándo actúa una válvula de seguridad, conviene colocar en la descarga un embudo desagüe que permita observar el funcionamiento de la misma.

VÁLVULAS ANTIRRETORNO:

Una válvula antirretorno solo permite el paso del fluido en un sentido, impidiendo la circulación en el sentido contrario. Existen varios tipos: de clapeta vertical u horizontal, de muelle, de bola, etc.



Figura 1.94 Válvula antirretorno

En las válvulas antirretorno de clapeta vertical, el fluido, al circular, empuja una compuerta que, por su posición, se cierra de forma inmediata cuando cesa la circulación, no permitiendo el paso de líquido en sentido contrario.

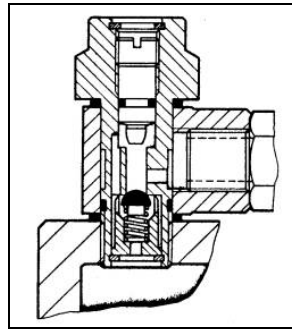


Figura 1.95 Sección de válvula antirretorno

En las de clapeta horizontal el elemento de cierre es un obturador que cierra o abre el paso del fluido en función del sentido de circulación de este. Este tipo de válvulas produce poca pérdida de carga, por lo que se utilizan en circuitos primarios colocándose para evitar la recirculación por termosifón inverso.

En las válvulas antirretorno de muelle, el fluido empuja un muelle, que mueve a su vez el obturador, permitiendo la circulación del fluido. Este tipo de válvulas origina una pérdida de carga mayor que la del tipo clapeta por lo que solo se aconseja su colocación en circuitos secundarios sometidos a mayor presión.

VÁLVULAS DE PASO:

Su función es interrumpir de forma total o parcial el paso del fluido por las tuberías.



Las de cierre total se usan para separar una parte de la instalación o aislarla del servicio, mientras que las de cierre parcial sirven para producir una pérdida de carga adicional en el circuito, con objeto de regular el caudal o equilibrar la instalación.

Cada función específica dentro de la instalación exige un tipo determinado de válvula, siendo las más utilizadas en las instalaciones de energía solar las válvulas de asiento y las de bola.

Válvulas de asiento:

En estas válvulas, el elemento obturador (el que no deja pasar el fluido) es un disco, que puede tener diferentes formas, y que se cierra sobre un asiento. En ellas el fluido cambia de dirección, siendo obligado a pasar entre el asiento y el obturador, originándose pérdidas de carga. Son muy utilizadas en las instalaciones de energía solar para equilibrar el circuito, regulando el caudal.



Figura 1.96 Válvula de paso de asiento

Válvulas de bola o de esfera:

Las válvulas de esfera o de bola son válvulas cuyo elemento obturador es una bola de acero inoxidable con un orificio del mismo diámetro que la tubería donde se coloca. El asiento del cuerpo de la válvula es una junta de plástico, generalmente teflón.

La apertura o cierre de la válvula se efectúa por medio de una palanca accionada de forma manual.



Figura 1.97 Válvula de paso de bola o de esfera

La principal ventaja de este tipo de válvulas es que presenta una pérdida de carga mínima cuando está abierta.

VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN:

Su misión es impedir que, a partir del punto donde se instalen, la presión en el circuito no supere un valor prefijado.

Constan de mando giratorio para fijar la presión deseada, una toma para instalar un manómetro y un portafiltro desmontable para facilitar su limpieza.

Este tipo de válvulas se monta de manera que la flecha que lleva grabada en su parte inferior indique el sentido de la corriente líquida.

La válvula mantiene la presión constante a la salida dependiendo del valor a la que se regule, aunque la presión en la línea de entrada pueda variar.

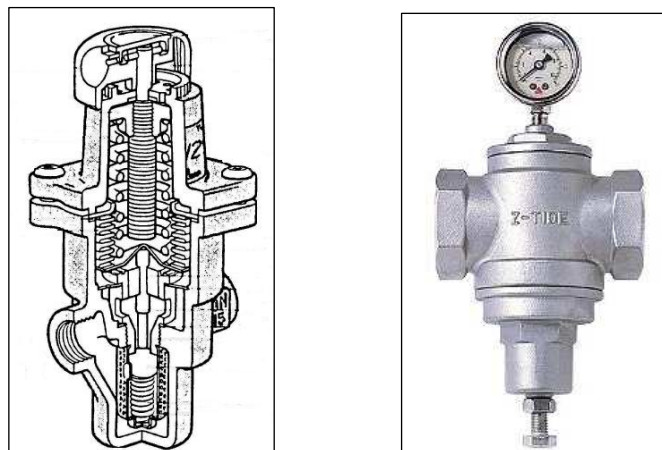


Figura 1.98 Válvulas reductoras de presión

NOMBRE	SÍMBOLO	DIÁMETRO	UNIDADES
Válvula de esfera		1/4"	13
Válvula de retención		1/4"	3
Válvula de tres vías		1/4"	1
Purgador		1/4"	1
Contador		1/4"	1
Manómetro		1/4"	2

Tabla 1.99. Detalles de las válvulas a instalar

1.3.3.4.7. SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR

El sistema convencional de apoyo o sistema de energía auxiliar tendrá una potencia térmica suficiente para que pueda proporcionar la energía necesaria para la producción total de agua caliente.



Su función será asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica añadiendo la cantidad de energía auxiliar estrictamente precisa para conseguir la temperatura mínima aceptable para el uso, aprovechándose lo máximo posible la energía extraída del campo de colectores.

El sistema convencional de apoyo o auxiliar deberá estar colocado en serie con el acumulador y siempre después de este, admitiéndose la producción instantánea de la energía de apoyo o producción de energía de apoyo en un acumulador independiente.

Se deberá prever un bypass del agua de red al sistema auxiliar para garantizar el abastecimiento de ACS en caso de paro de la instalación solar por avería, reparación o mantenimiento.

Para ACS, el sistema de aporte de energía auxiliar con acumulación o en línea siempre dispondrá de un termostato de control sobre la temperatura de preparación que en condiciones normales de funcionamiento permitirá cumplir con el Real Decreto 865/2003. Este punto no será de aplicación en los calentadores instantáneos de gas o no modulantes.

Queda prohibido el uso de sistemas de energía auxiliar en el circuito primario de colectores.

En la instalación proyectada se utilizará como sistema auxiliar una caldera de calentamiento instantáneo.





DIMENSIONADO DEL CALENTADOR INSTANTÁNEO:

Siendo constante la temperatura de los gases quemados cuyo calor se transmite al agua, se puede calcular la potencia útil suministrada por el calentador, la cantidad de litros de ACS y el correspondiente incremento de temperatura por intermedio de la fórmula de la energía térmica:

$$Q=mc(tc-tf)$$

Teniendo en cuenta que el calor específico del agua es $c=1\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$, la fórmula se convierte en

$$Q=m(Tc-tf)$$

Donde:

Q = Potencia útil del calentador (Kcal/min)

Tc =temperatura salida agua caliente

Tf = temperatura entrada agua fría

Se precisa conocer la potencia útil que debe tener el calentador instantáneo para suministrar agua en el caso más desfavorable.

Las temperaturas de entrada de agua fría (Tf) y salida de agua caliente (Tc) serán las mismas que las utilizadas para el dimensionado de los colectores; 45°C para la salida de agua caliente de consumo y 8°C para el agua fría (se ha tomado la menor de los doce meses).





Partiremos de los datos de consumo de agua que cifraremos de acuerdo con las Normas Básicas para las instalaciones Interiores de Suministro de Agua, referidas a dichas instalaciones que serán:

Cada uno de los aparatos domésticos debe recibir, con independencia del estado de funcionamiento de los demás, unos caudales instantáneos mínimo para su utilización adecuada.

Los caudales instantáneos mínimos en los aparatos domésticos serán los siguientes:

Lavabo	0,10 l/s
Bidet	0,10 l/s
Sanitario con depósito	0,10 l/s
Bañera	0,30 l/s
Ducha	0,20 l/s
Fregadero	0,20 l/s
"Office"	0,15 l/s
Lavadero	0,20 l/s

Tabla 1.100 Caudales instantáneos

Las maquinas de lavar vajillas y ropa equivalen, respectivamente a la fregadera y al lavadero.



En la instalación existen:

UNIDADES	APARATO	UBICACIÓN	CAUDAL INSTANTÁNEO
3	Lavabo	BAÑOS	0,10 l/s
3	Bidet	BAÑOS	0,10 l/s
3	Sanitario con depósito	BAÑOS	0,10 l/s
2	Bañera	BAÑOS	0,30 l/s
1	Ducha	BAÑO	0,20 l/s
3	Fregadero (dos del fregadero y el lavavajillas)	COCINA	0,20 l/s
0	"Office"		0,15 l/s
1	Lavadero (lavadora)	COCINA	0,20 l/s

Figura 1.101. Ubicación y unidades de aparatos

Suponemos que el caso más desfavorable será con la ducha, una bañera y un fregadero en uso, es decir se necesitará calentar un caudal de 0,7 litros por segundo.

$$0,7 \text{ litros/segundo} * 60 \text{ segundos} = 42 \text{ litros/minuto}$$

$$Q=42(45-8)= 1554 \text{ Kcal/min}$$

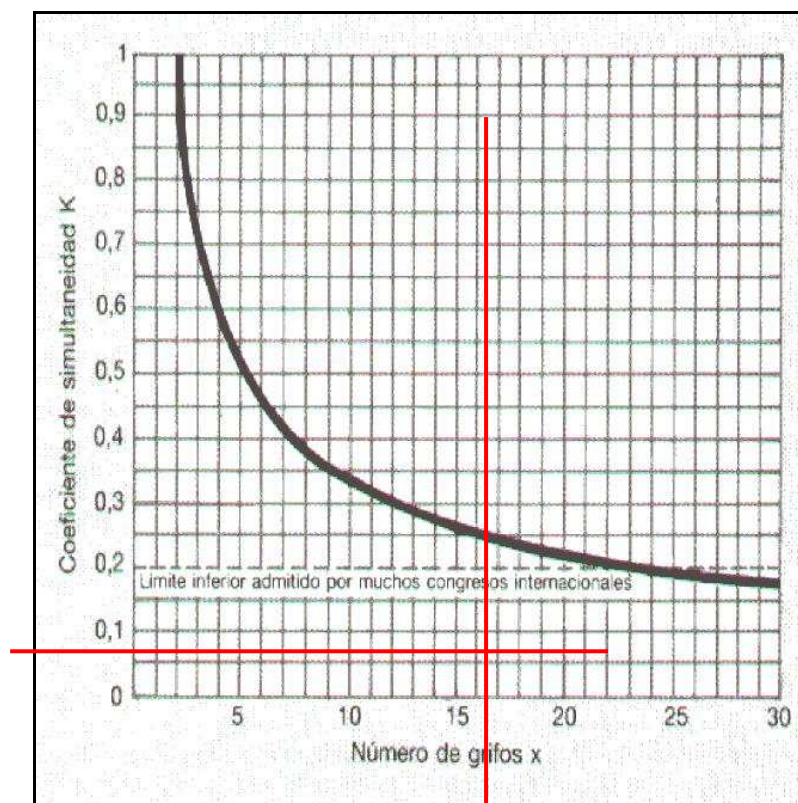


Coeficiente de simultaneidad:

El consumo de agua de un inmueble varía con las actividades de sus ocupantes en los diferentes momentos del día. Para fijar los diámetros necesarios a las canalizaciones, hay, pues, que determinar la punta máxima de consumo **Q_m**.

El valor de esta punta raramente corresponde a la apertura simultánea de todos los grifos.

Se observa en la figura siguiente el coeficiente de simultaneidad en función de los grifos existentes en la vivienda, que en este caso son 16.



Gráfica 1.102. Coeficiente de simultaneidad en función del número de grifos



Se fija el coeficiente de simultaneidad para la instalación en 0,25, de esta manera el resultado anterior varía:

$$Q=1554 \text{ kcal/min} * 0,25 = 388,5 \text{ kcal/min} \approx \mathbf{389 \text{ kcal/min}}$$

$$\begin{aligned} 389 \text{ kcal/min} * 1 \text{ min}/60 \text{ seg} * 1000 \text{ cal}/1 \text{ kcal} &= 6483,33 \text{ cal/seg} * 4,1868 \text{ J/1 cal} \\ &= 27144,42 \text{ J/s} = 27144,42 \text{ W} = 27,14 \text{ kW} = \mathbf{27 \text{ kW}}. \end{aligned}$$

En la vivienda de estudio existe una caldera de 23 kW de potencia, más concretamente el modelo ZW 23-1 KE de la marca Junkers.

Con los datos obtenidos anteriormente se establece que la caldera existente será capaz de abastecer de agua caliente de consumo la instalación en momentos de baja irradiación solar o elevado consumo, por lo que el sistema de energía auxiliar no formará parte del coste de la instalación.

A continuación se detallan los datos técnicos más relevantes de la caldera Junkers existente aportados por el fabricante:





Figura 1.103 Caldera mural Junkers ZW 23-1 KE

- Caldera mural a gas para los servicios de calefacción y ACS instantánea con cámara de combustión abierta y tiro natural.
- Encendido electrónico y seguridad por ionización (sin piloto).
- Quemador multigás. Disponible en Gas Natural y G.L.P.
- Selector de temperatura de ACS de 40 °C a 60 °C.
- Caudal específico en ACS de 3,3 l/min a 13 l/min.
- Sistema antibloqueo de bomba y protección antiheladas.
- Sistema de diagnóstico de averías.
- Vaso de expansión con purgador automático.
- Dimensiones 700 x 400 x 295 mm.
- Garantía 2 años.



1.3.3.4.8. SISTEMA DE CONTROL

El diseño del sistema de control asegurará el correcto funcionamiento de la instalación, procurando que se obtenga un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando una utilización adecuada de la energía auxiliar. El sistema de regulación y control comprende los siguientes sistemas:

- Control del funcionamiento del circuito primario y secundario.
- Sistemas de protección y seguridad de las instalaciones contra heladas, sobrecalentamientos, etc.

Deberá asegurar que en ningún caso se almacenen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.

Con independencia de que pueda realizar otras funciones, el sistema de control se efectuará por control diferencial de temperaturas mediante un termostato diferencial, dispositivo electrónico que compara la temperatura de colectores con la de acumulación. El sistema de control actuará y estará ajustado de forma que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea inferior a 2°C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7°C. La diferencia de temperatura entre los puntos de arranque y parada del termostato diferencial no será menor de 2°C, optimizando de esta manera el funcionamiento de la parte solar de la instalación.



El sistema de control asegurará que, en ningún punto, la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superior a la de congelación del fluido. En esta instalación, el fluido caloportador seleccionado tiene una temperatura de congelación de -17°C , por lo que la temperatura mínima a la que estará tarado el sistema de control será de -14°C .

Las medidas de temperatura se realizarán mediante sondas de temperatura como la de la figura xx.



Figura 1.104 Sonda de temperatura

En lo referente a la colocación de las sondas, serán preferentemente de inmersión y situadas a una distancia máxima de 5 cm del fluido cuya temperatura queremos medir. Las vainas que alojan las sondas de temperatura se introducirán en las tuberías siempre a contracorriente y en un lugar donde no se originen turbulencias.

La localización e instalación de los sensores de temperatura deberá asegurar un buen contacto térmico con la parte en la cual hay que medir la misma. Para conseguirlo en el caso de las de inmersión, se instalarán en contracorriente con el fluido. Los sensores de temperatura deberán estar aislados contra la influencia de las condiciones ambientales que le rodean.





La ubicación de las sondas se realizará de forma que estas midan exactamente las temperaturas que se deseen controlar, instalándose sensores en el interior de vainas y evitándose las tuberías separadas de la salida de colectores y las zonas de estancamiento en los depósitos.

La sonda de colectores para el control diferencial se instalará en la parte superior de estos, de forma que represente la máxima temperatura del circuito de colectores y el sensor de temperatura de acumulación se colocará preferentemente en la parte inferior, en una zona no influida por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si está incorporado al acumulador.

El sistema eléctrico y de control cumplirá con el REBT (Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión) en los puntos que le sean de aplicación. Los cuadros se construirán también de acuerdo con el REBT, estando el usuario protegido contra posibles contactos directos o indirectos.

El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de alimentación del sistema de funcionamiento de las bombas y el rango de temperatura ambiente de funcionamiento de este estará, como mínimo, entre -10°C y 50°C .





SISTEMA DE CONTROL SELECCIONADO

El funcionamiento de los equipos forzados se regula a través del termostato diferencial Termicol TDC. Este dispositivo compara la temperatura del captador (S1) con la existente en la parte baja del acumulador (S2) y da la orden de marcha a la bomba si la diferencia entre ambas temperaturas es superior a una cierta cantidad (normalmente 7-8 °C). Análogamente, cuando la diferencia entre ambos valores es inferior a otro valor prefijado (normalmente 2-3°C), la bomba se para.

La lectura de las temperaturas se realiza a través de dos **sondas PT1000**, una conectada en la salida de la batería de captadores (S1) y otra en la parte baja del acumulador (S2).

Estas sondas pueden alargarse manteniendo gran precisión la medida de las temperaturas hasta 30 metros con cable bipolar apantallado de sección 0,75 mm².

El sistema de control dispone además de tres tipos de protecciones:

Protección antihielo, cuando S1 alcanza 3°C (valor ajustable en pantalla) la bomba circuladora se pone en funcionamiento durante 5 minutos para evitar la congelación del agua que circula por el circuito primario. Cuando se usa anticongelante como fluido caloportador, esta función puede desactivarse.

Protección de temperatura máxima en el acumulador, cuando S2 alcanza el valor prefijado de 60 °C (también ajustable en pantalla) la bomba se para aunque haya temperatura suficiente en los captadores.

Protección del captador y refrigeración del acumulador, cuando S1 alcanza 120°C (valor ajustable) se activa la bomba circuladora hasta que la temperatura de los captadores se reduce en 10 °C. Cuando ya no hay radiación, el exceso de energía en el acumulador se cede a los captadores.



A continuación se muestran las características principales de la centralita de control Termicol TDC:

Datos eléctricos:	
Tensión	230VAC +/- 10%
Frecuencia	50...60Hz
Potencia	2VA
Potencia conexión	
Relé electrónico R1	min.20W...max.120W para AC3
Relé mecánico R2	460VA para AC1 / 185W para AC3
Fusible interno	2A inerte 250V
Protección	IP40
Clase de protección	II
Entradas de sensores	3 x Pt1000
Rango de medición	-40°C bis 300°C

Sensores de temperatura:	
Sensor caldera o captador	Pt1000, sumergible TT/S2 hasta 180°C
Sensor acumulador	Pt1000, sumergible TT/P4 hasta 95°C
Sensor de contacto	Pt1000, sumergible TR/P4 hasta 95°C
Cables de los sensores	2x0.75mm ² hasta max. 30m
Rango de temperatura	Ω 1000 a 0°C, 1385 a 100°C

Tabla 1.105. Datos eléctricos sistema de control Termicol TDC

Otros datos y dimensiones	
Carcasa	2 partes, plastico ABS
Formas de montaje	sobre pared
Dimensiones total	163mm x 110mm x 52mm
Dimensiones (corte)	157mm x 106mm x 31mm
Pantalla 100% grafica	128 x 64 puntos
Diodo luminoso	multicolores
Manejo	4 Teclas

Condiciones admisibles del ambiente:	
Temperatura ambiental	
en operación	0°C...40°C
en transporte, almacenaje	0°C...60°C
Humedad	
en operación	max. 85% humedad rel. a 25°C
en transporte, almacenaje	condensaciones no admisibles

Tabla 1.106. Datos de interés sistema de control Termicol TDC



1.3.4. ESQUEMA DE PRINCIPIO

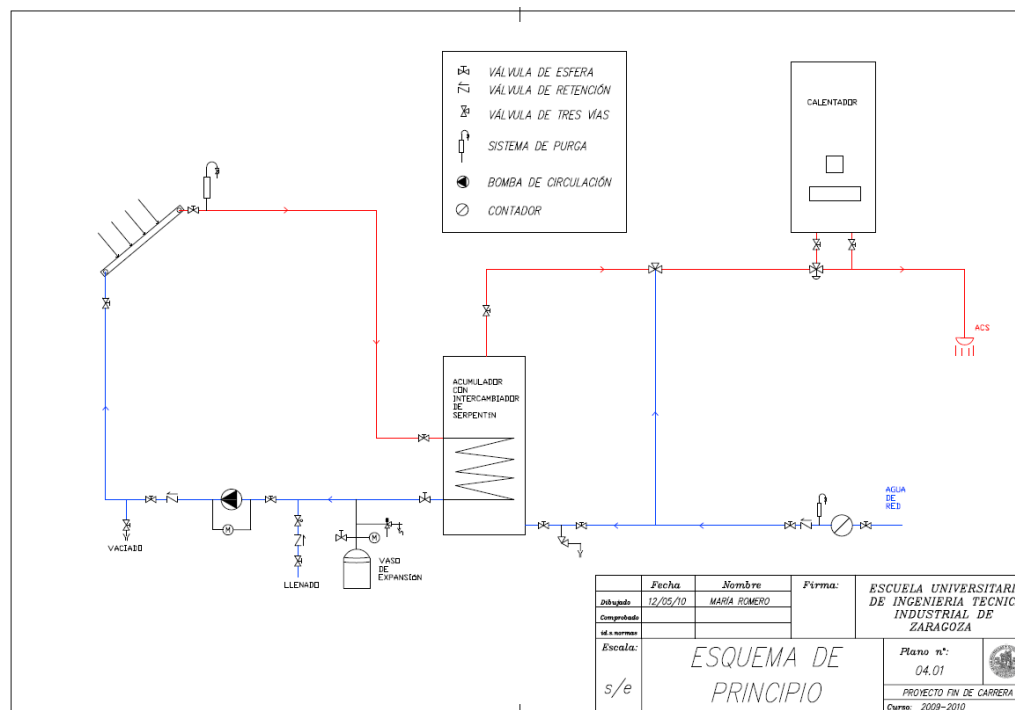


Figura 1.107. Esquema de principio

CIRCUITO PRIMARIO

En el circuito primario, por el que circulará el fluido caloportador (agua y anticongelante), entra el agua de la red que pasa por la primera válvula de corte, quedando esta válvula abierta hasta que el circuito este lleno en la proporción adecuada. Una vez lleno, esta válvula sirve para aislar al circuito que contendrá la mezcla de agua y anticongelante, con el fin de que no exista contacto con el agua de consumo. Por el sistema de llenado se introducirá el porcentaje necesario de anticongelante seleccionado, quedando cerrado gracias a la válvula de corte de dicho sistema.





Al llegar hasta el electrocircularador (donde en paralelo se puede observar un manómetro con dos llaves para medir la presión del circuito y del electrocircularador) existe una válvula antirretorno que evita el efecto termosifónico no deseado cuando el colector no está captando energía. A continuación el fluido caloportador pasa los colectores solares donde se mide la temperatura para controlar el funcionamiento del circuito, es decir, cuando la temperatura sea muy alta o muy baja el electrocircularador se pondrá en funcionamiento y se cerrará automáticamente la válvula de tres vías.

En el punto más alto estará el purgador, destinado a la expulsión de los gases de la instalación, y la válvula de seguridad para expulsar el líquido del circuito si la presión en este punto asciende por encima del nivel fijado.

CIRCUITO SECUNDARIO:

En el circuito secundario se encuentra el acumulador junto con una fuente auxiliar de energía (calentador) en serie con este.

El agua caliente proveniente del acumulador pasa por la tubería hasta la válvula de tres vías que la une al agua fría de red. La válvula de tres vías de control situada a la entrada del sistema auxiliar será la responsable de la selección del agua de uso, fría o caliente. El agua caliente del acumulador pasará por la caldera donde se calentará instantáneamente si su temperatura no es suficientemente elevada.





Tras este punto el circuito secundario se une con el circuito existente de distribución por la vivienda.



1.3.5. RESUMEN DE LOS ELEMENTOS

SELECCIONADOS

Se describen brevemente las características técnicas de los elementos seleccionados:

COLECTORES SOLARES

Marca: *Termicol*

Modelo: *T25S*

Características técnicas:

		T25S
Dimensiones (mm.)		2.105*1180*82
Superficie bruta (m ²)		2,5
Superficie útil (m ²)		2,4
Peso en vacío (kg)		37
Capacidad de fluido (litros)		1,27
h ₀		0,770
a ₁ (W/m ² K)		3,663
a ₂ (W/m ² K ²)		0,016
Cubierta		Vidrio templado 3,2 mm.
Absorbedor	General	Parrilla de cobre con canales de $\phi 8$ y colector de $\phi 18$
	Nº canales	10
	Tratamiento	Selectivo Bluetec
Carcasa		Aluminio
Aislamiento		Lana de roca semirígida de 35 mm.
Conexión entre captadores		Mediante racor de 3 piezas soldado al panel



ANTICONGELANTE

Base: *Propolenglicol*

Marca: *Termicol*

Nombre comercial: *Fluidosol*

Cantidad: *7,9 litros*



VASO DE EXPANSIÓN

Marca: *Salvador Escoda*

Modelo: *8-AMR*

Capacidad: *8 litros*

Características técnicas:

	Código	Artículo	Capacidad lts.	Presión máx. trabajo	Presión precarga bar	D mm	H mm	H1 mm	Conexión de agua Ø DIN 259
	AC 04 001	5 AMR-E	5	10	1,5	200	265	—	¾"
	AC 04 008	5 AMR-E	5	10	1,5	200	265	—	1"
	AC 04 005	24 AMR-E	24	8	1,5	350	410	—	¾"
	AA 15 205	24 AMR-E	24	8	1,5	350	410	—	1"
	AC 04 016	8 AMR	8	10	1,5	200	350	—	1"
	AC 04 017	15 AMR	15	10	1,5	270	320	—	1"
	AC 04 018	20 AMR	20	10	1,5	270	425	—	1"
	AC 04 020	50 AMR	50	10	1,5	360	620	—	1"

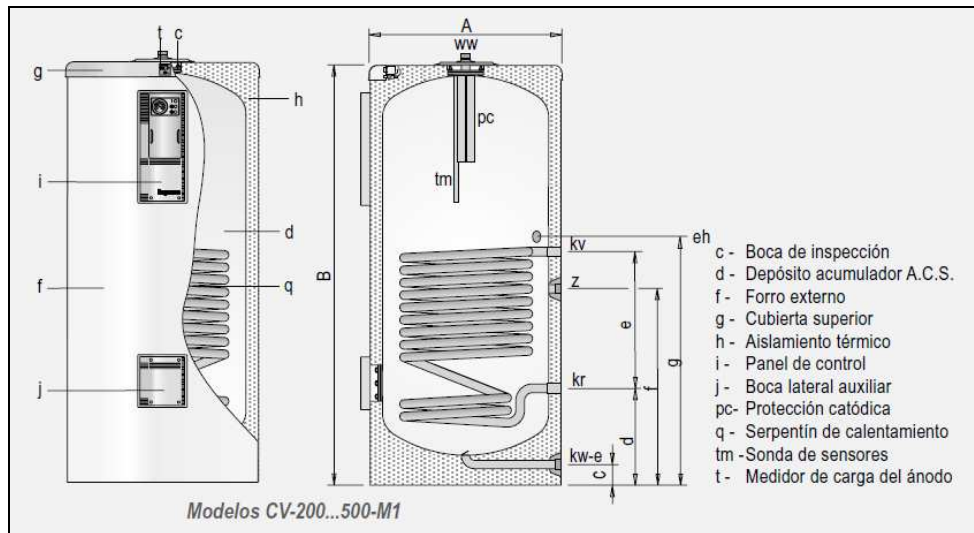
- Temperatura máxima de funcionamiento es de: 383 K (110°C).
- Acabado exterior fosfatado, pintado y secado al horno.
- Pintado en color rojo RAL-3.013.

DEPÓSITO ACUMULADOR CON SERPENTÍN

Marca: Lapesa

Modelo: CV-200-M1

Características técnicas:



Características técnicas /Conexiones /Dimensiones		CV-200-M1
Capacidad de A.C.S.	litros	200
Temperatura máxima depósito de A.C.S.	°C	90
Presión máxima depósito de A.C.S.	bar	8
Temperatura máxima circuito de calentamiento	°C	200
Presión máxima circuito de calentamiento	bar	25
Superficie de intercambio circuito de calentamiento	m ²	1.4
Peso en vacío (aprox.)	Kg	85
kw/e: Entrada agua fría / desagüe	"GAS/M	1
ww: Salida A.C.S.	"GAS/M	1
z:: Recirculación	"GAS/M	1
kv: Avance circuito primario	"GAS/H	1
kr: Retorno circuito primario	"GAS/H	1
eh: Conexión lateral	"GAS/M	-
Cota A: Diámetro exterior	mm	620
Cota B: Longitud total	mm	1205
Cota c:	mm	85
Cota d:	mm	350
Cota e:	mm	555
Cota f:	mm	755
Cota g:	mm	965

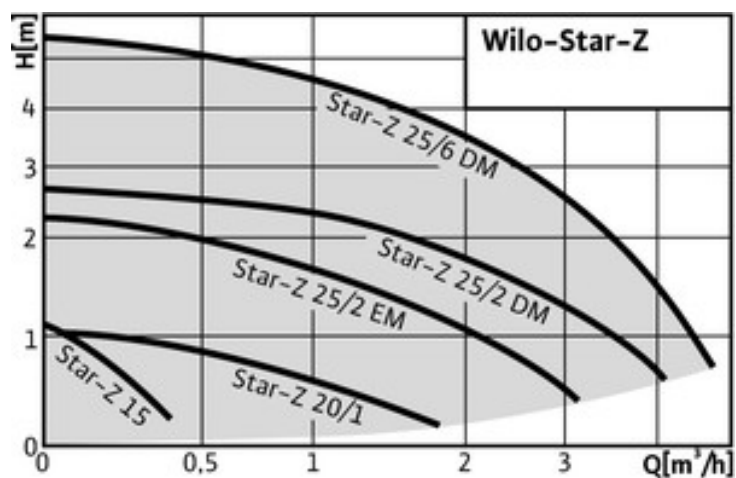


BOMBA DE CIRCULACIÓN

Marca: *WILO*

Modelo: *WILO-Star-Z*

Características técnicas:



- Bomba de motor monofásico con conexión eléctrica rápida.
- Todos los componentes de material sintético que están en contacto con el fluido cumplen los requisitos KTW
- Aislamiento térmico de serie para Star-Z 15.



SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR

Marca: *Junkers*

Modelo: *ZW 23-1 KE*

Características técnicas:

- Caldera mural a gas para los servicios de calefacción y ACS instantánea con cámara de combustión abierta y tiro natural.
- Encendido electrónico y seguridad por ionización (sin piloto).
- Quemador multigás. Disponible en Gas Natural y G.L.P.
- Selector de temperatura de ACS de 40 °C a 60 °C.
- Caudal específico en ACS de 3,3 l/min a 13 l/min.
- Sistema antibloqueo de bomba y protección antiheladas.
- Sistema de diagnóstico de averías.
- Vaso de expansión con purgador automático.
- Dimensiones 700 x 400 x 295 mm.



SISTEMA DE CONTROL

Marca: *Termicol*

Modelo: *Termicol Energy*

Características técnicas:

Datos eléctricos:	
Tensión	230VAC +/- 10%
Frecuencia	50...60Hz
Potencia	2VA
Potencia conexión	
Relé electrónico R1	min.20W...max.120W para AC3
Relé mecánico R2	460VA para AC1 / 185W para AC3
Fusible interno	2A inerte 250V
Protección	IP40
Clase de protección	II
Entradas de sensores	3 x Pt1000
Rango de medición	-40°C bis 300°C

Sensores de temperatura:	
Sensor caldera o captador	Pt1000, sumergible TT/S2 hasta 180°C
Sensor acumulador	Pt1000, sumergible TT/P4 hasta 95°C
Sensor de contacto	Pt1000, sumergible TR/P4 hasta 95°C
Cables de los sensores	2x0.75mm ² hasta max. 30m
Rango de temperatura	Ω 1000 a 0°C, 1385 a 100°C

Otros datos y dimensiones	
Carcasa	2 partes, plastico ABS
Formas de montaje	sobre pared
Dimensiones total	163mm x 110mm x 52mm
Dimensiones (corte)	157mm x 106mm x 31mm
Pantalla 100% grafica	128 x 64 puntos
Diodo luminoso	multicolores
Manejo	4 Teclas

Condiciones admisibles del ambiente:	
Temperatura ambiental	
en operación	0°C...40°C
en transporte, almacenaje	0°C...60°C
Humedad	
en operación	max. 85% humedad rel. a 25°C
en transporte, almacenaje	condensaciones no admisibles





VALVULERÍA

NOMBRE	SÍMBOLO	DIÁMETRO	UNIDADES
Válvula de esfera		1/4"	13
Válvula de retención		1/4"	3
Válvula de tres vías		1/4"	1
Purgador		1/4"	1
Contador		1/4"	1
Manómetro		1/4"	2





1.4. ESTUDIO ECONÓMICO





1.4.1. INTRODUCCIÓN

VAN:

Valor actual neto que procede de la expresión inglesa Net Present Value. El acrónimo es NPV en inglés y VAN en español. Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

La fórmula que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = - Co + \sum (Cn / (1+i)^n)$$

Donde:

Cn representa los flujos de caja en cada periodo **n**.

Co es el valor del desembolso inicial de la inversión.

n es el número de periodos considerado.

i es el tipo de interés.

Si el proyecto no tiene riesgo, se tomará como referencia el tipo de la renta fija, de tal manera que con el VAN se estimará si la inversión es mejor que invertir en algo seguro, sin riesgo específico. En otros casos, se utilizará el coste de oportunidad.





TIR:

La Tasa Interna de Retorno o Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) de una inversión está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero.

El VAN o VPN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.

$$VAN = - Co + \sum (Cn / (1+TIR)^n) = 0$$

Donde:

Cn representa los flujos de caja en cada periodo **n**.

Co es el valor del desembolso inicial de la inversión.

n es el número de períodos considerado.

Se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara una tasa mínima o tasa de corte con el coste de oportunidad de la inversión (si la inversión no tiene riesgo, el coste de oportunidad utilizado para comparar la TIR será la tasa de rentabilidad libre de riesgo). Si la tasa de rendimiento del proyecto (expresada por la TIR) supera la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza.





1.4.2. DATOS DE PARTIDA

1.4.2.1. INGRESOS

Debido a que la instalación solar no da ingresos entendidos como dinero, se establece que los ingresos anuales serán debidos al ahorro de gas que consumiría una caldera de gas si no existiese la instalación solar.

De este modo:

$$\text{Ingresos} = \text{Necesidad anual} * \text{precio gas} * \text{PCI}$$

Donde:

- **Necesidad anual:** Tal y como se ha establecido en el apartado 1.3.3.1 *Cálculo de Necesidades*, las necesidades totales en un año para la vivienda de estudio son de 8.998,28MJ/año, **2.160.000 kcal/año**.
- **Precio gas:** Según los datos actuales, el precio del gas natural esta establecido en **0,84€/litro**.
- **PCI:** Es el Poder Calorífico Inferior del gas natural, el calor realmente aprovechable, el producido sin aprovechar la energía de la condensación del agua y otros procesos de pequeña importancia.

Por lo tanto los ingresos anuales serán de **180€ aproximadamente**, tal y como se expresa en la tabla de análisis económico inferior.





1.4.2.2. COSTES

Según se establece en el documento 3 del presente proyecto el coste total de la instalación asciende a **2400€ (I.V.A. incluido)**.

Se realizará el estudio de viabilidad de la instalación suponiendo dos casos posibles.

- 1) **Sin subvención:** Se realizará el estudio según los costes totales de la instalación, sin tener en cuenta ningún tipo de subvención.

- 2) **Con subvención:** El Ente Vasco de la Energía (EVE) ofrece unas subvenciones autonómicas para Instalaciones solares térmicas de baja temperatura, con colectores planos con cubierta, CPC o tubos de vacío, para producción de ACS, climatización, calentamiento de piscinas, agua caliente en procesos industriales o similar; de hasta 150 m² de superficie útil de captador, siempre que su realización no sea de obligado cumplimiento tras la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación.

Puesto que el proyecto de estudio cumple todos los requisitos establecidos para optar a dicha subvención, se recalculará el tiempo de amortización de la instalación, teniendo en cuenta la ayuda del 40% del total del coste.





1.4.3. RESULTADOS

1.4.3.1. SIN SUBVENCIÓN

ANÁLISIS ECONÓMICO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA			
precio combustible	0,84	€/L	
AHORRO ENERGÍA	2.160.000	Kcal/año	
PCI	10.100	kcal/L	
INVERSIÓN	2.400 €		
Recursos Propios	2.400 €	100%	
Préstamo	0 €	0%	
Financiación préstamo	5 años		
Costes de explotación	7%	del ahorro anual	
Subvención	40%		
Inflación anual	3,00%		
Interes préstamo	3,50%		
Interés mercado (VAN)	3%		
Amortización Inmovilizado	10% 10,0 años		
Impuesto Sociedades	30%		



AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		180	185	191	196	202	208	215	221	228	234
Costes explotación		13	13	13	14	14	15	15	15	16	16
BENEFICIO BRUTO		167	172	177	183	188	194	199	205	212	218
Amortización		240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
Subvención		960									
B.A.I.T.		887	-68	-63	-57	-52	-46	-41	-35	-28	-22
Interés préstamo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.A.T.		887	-68	-63	-57	-52	-46	-41	-35	-28	-22
Impuesto Sociedades		266	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BENEFICIO NETO		621	-68	-63	-57	-52	-46	-41	-35	-28	-22
Amortización		240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
Desembolso inversión	2.400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Flows	-2.400 €	861 €	172 €	177 €	183 €	188 €	194 €	199 €	205 €	212 €	218 €
PENDIENTE AMORTIZAR	2.400	2.160	1.920	1.680	1.440	1.200	960	720	480	240	0
PENDIENTE PRÉSTAMO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAYBACK	-2.400	-1.539	-1.367	-1.189	-1.007	-819	-625	-426	-220	-8	210
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

AÑO	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	241	249	256	264	272	280	288	297	306	315
Costes explotación	17	17	18	18	19	20	20	21	21	22
BENEFICIO BRUTO	225	231	238	245	253	260	268	276	284	293
Amortización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subvención										
B.A.I.T.	225	231	238	245	253	260	268	276	284	293
Interés préstamo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.A.T.	225	231	238	245	253	260	268	276	284	293
Impuesto Sociedades	67	69	71	74	76	78	80	83	85	88
BENEFICIO NETO	157	162	167	172	177	182	188	193	199	205
Amortización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desembolso inversión	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Flows	157 €	162 €	167 €	172 €	177 €	182 €	188 €	193 €	199 €	205 €
PENDIENTE AMORTIZAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PENDIENTE PRÉSTAMO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAYBACK	367	529	695	867	1.044	1.226	1.414	1.607	1.806	2.011
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10



VAN	1.031,11 €
TIR	8%
PAY BACK	10 años

1.4.3.2. CON SUBVENCIÓN

ANÁLISIS ECONÓMICO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA			
precio combustible	0,84	€/L	
AHORRO ENERGÍA	2.160.000	Kcal/año	
PCI	10.100	kcal/L	
INVERSIÓN	1.440 €		
Recursos Propios	1.440 €	100%	
Préstamo	0 €	0%	
Financiación préstamo	5 años		
Costes de explotación	7%	del ahorro anual	
Subvención	40%		
Inflación anual	3,00%		
Interes préstamo	3,50%		
Interés mercado (VAN)	3%		
Amortización Inmovilizado	10%		
	10,0 años		
Impuesto Sociedades	30%		



AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		180	185	191	196	202	208	215	221	228	234
Costes explotación		13	13	13	14	14	15	15	15	16	16
BENEFICIO BRUTO		167	172	177	183	188	194	199	205	212	218
Amortización		144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
Subvención		576									
B.A.I.T.		599	28	33	39	44	50	55	61	68	74
Interés préstamo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.A.T.		599	28	33	39	44	50	55	61	68	74
Impuesto Sociedades		180	8	10	12	13	15	17	18	20	22
BENEFICIO NETO		419	20	23	27	31	35	39	43	47	52
Amortización		144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
Desembolso inversión	1.440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Flows	-1.440 €	563 €	164 €	167 €	171 €	175 €	179 €	183 €	187 €	191 €	196 €
PENDIENTE AMORTIZAR	1.440	1.296	1.152	1.008	864	720	576	432	288	144	0
PENDIENTE PRÉSTAMO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAYBACK	-1.440	-876	-713	-545	-374	-200	-21	162	349	540	736
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		0	0	0	0	0	0	7	7	7	7

AÑO	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	241	249	256	264	272	280	288	297	306	315
Costes explotación	17	17	18	18	19	20	20	21	21	22
BENEFICIO BRUTO	225	231	238	245	253	260	268	276	284	293
Amortización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subvención										
B.A.I.T.	225	231	238	245	253	260	268	276	284	293
Interés préstamo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.A.T.	225	231	238	245	253	260	268	276	284	293
Impuesto Sociedades	67	69	71	74	76	78	80	83	85	88
BENEFICIO NETO	157	162	167	172	177	182	188	193	199	205
Amortización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desembolso inversión	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Flows	157 €	162 €	167 €	172 €	177 €	182 €	188 €	193 €	199 €	205 €
PENDIENTE AMORTIZAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PENDIENTE PRÉSTAMO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAYBACK	893	1.055	1.222	1.394	1.571	1.753	1.941	2.134	2.333	2.538
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7



VAN	1.590,80 €
TIR	15%
PAY BACK	7 años

1.4.4. RESUMEN DE RESULTADOS

VAN TIR PAY BACK	SIN SUBVENCIÓN	CON SUBVENCION
	1.031,11 € 8% 10 años	1.590,80 € 15% 7 años

Se concluye que a partir de los años de amortización calculados, la instalación comenzará a dar únicamente beneficios o ganancias netas, habiendo liquidado la inversión inicial.





1.4.5. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO ECONÓMICO

Siguiendo el principio de prudencia de contabilidad, ante la circunstancia de tener que elegir entre dos valores, se optará por el valor más bajo, minimizando de esta manera la participación del propietario en las operaciones contables.

Como es lógico, la opción más factible es la segunda en la que el 40% del coste de la instalación esta subvencionada por el Gobierno Vasco, en la que se amortiza la instalación en 7 años, con un VAN de 1590,8 € y un TIR del 15%.

Si el VAN fuera mayor, el proyecto empezaría a no ser rentable, pues el beneficio neto o ganancia neta empezaría a ser inferior que la inversión.

Si por el contrario, y tal y como es este caso, el VAN fuera menor, el proyecto sería cada más rentable, ya que a menor tasa el beneficio o ganancia neta es cada vez mayor que la inversión inicial.

Pese a que el ahorro no es muy elevado económicamente hablando, habrá que evaluar las ventajas ofrecidas por la instalación al medio ambiente.





Un balance aproximado de las emisiones no emitidas a la atmósfera gracias a la instalación de este sistema de energía solar se basa en estimar que un metro cuadrado de colector solar evita la emisión de 0,17 toneladas de CO₂ al año.

La instalación de estudio, por tener una superficie colectora de 2,4 metros cuadrados, evitaría la emisión de 0,408 toneladas de CO₂ al año. Suponiendo la vida útil de la instalación en 15 años aproximadamente, se estima que se evitará la emisión de 6,15 toneladas de CO₂ a la atmósfera.





1.5. CONCLUSIONES





Tras el estudio realizado para la instalación de energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria en una vivienda unifamiliar, se ha optado por instalar un sistema indirecto de circulación forzada.

Dicho sistema estará compuesto básicamente por un colector solar de 2,4 metros cuadrados de superficie colectora, un acumulador de agua con intercambiador interno de serpentín y el sistema de bombeo, control y valvulería necesaria para el correcto funcionamiento de la citada instalación.

Se ha decidido conservar la caldera existente en la vivienda como sistema de energía auxiliar, con el fin de reducir los costes.

El presupuesto total de la instalación, incluida la mano de obra y el IVA, es de 2400€, de los cuales, el 40% serán subvencionados por el Gobierno Vasco. De esta forma, el coste a asumir serán de 1440€, a amortizar en 7 años.

Existen también costes y beneficios externos que en la actualidad no se consideran al evaluar la viabilidad del proyecto (el caso más ilustrativo es el del beneficio sobre el medioambiente), pero que de ser cuantificados en términos económicos inclinarían claramente la balanza hacía el lado de las energías renovables.





En el presente proyecto, al ahorro económico a partir del 8º año habrá que añadir la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, que se han estimado en 6,15 toneladas en los 15 años de vida útil de la instalación.

Entre otros beneficios que proporcionan las energías renovables desde el punto de vista social y económico se pueden destacar las siguientes:

- Contribuyen a la diversificación de las fuentes de energía mediante recursos energéticos propios, garantizando el suministro energético y permitiendo reducir las importaciones.
- Hacen posible el suministro energético en emplazamientos sin redes eléctricas.
- Favorecen al desarrollo de actividades industriales y económicas.
- Crean cinco veces más puestos de trabajo que las convencionales. Estos puestos son especializados y estables.
- Potencian el desarrollo de las tecnologías propias.





1.6. BIBLIOGRAFÍA





- Energía Solar Térmica. - “Zabala”
Prensas Universitarias de Zaragoza
- Análisis de viabilidad económico-financiero de un proyecto de energías renovables. - “Zabala”
Prensas Universitarias de Zaragoza
- IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
Pliego de Condiciones Técnicas
- Ente Vasco de la Energía - EVE - www.eve.es
- www.goolzoom.com
- CENSOLAR - www.censolar.com
- Código Técnico de la Edificación
- Ministerio de fomento y de trabajo y asuntos sociales
Comisión técnica para Calidad de la Edificación
- Instituto Nacional de Meteorología
- Cálculo de la Energía Solar - García Badell Lapetra, Jose Javier
Editorial Progenza
- Artículo: Sistemas de Calentamiento solar en edificios
Ingeniero Nestor Quadri
- Manual de aislamiento en la edificación - www.isover.net
- www.termicol.com
- www.lapesa.com
- www.wilo.com
- www.salvadorescoda.es





Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial.

Universidad de Zaragoza.

ANEXOS

Instalación de energía solar térmica para una
vivienda unifamiliar.





ÍNDICE ⁽²⁾

ANEXO I: NORMATIVA DE APLICACIÓN Y CONSULTA (3-6)

ANEXO II: DEFINICIONES (7-15)

ANEXO III: PRUEBAS Y DOCUMENTACIÓN (16-26)

ANEXO IV: COLECTORES Y ESTRUCTURA SOPORTE (27-38)

ANEXO V: INSTRUCCIONES DE MONTAJE (39-44)

ANEXO VI: MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN (45-49)

ANEXO VII: TABLAS DE TEMPERATURA Y RADIACIÓN (50-57)

**ANEXO VIII: ESTIMACIÓN DEL DIÁMETRO Y LONGITUD DE LAS TUBERÍAS
DEL CIRCUITO SECUNDARIO (58-67)**





ANEXO I

NORMATIVA DE APLICACIÓN Y CONSULTA





A.I.1 NORMATIVA DE APLICACIÓN

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

Reglamento de Recipientes a Presión (RAP).

Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Complementaria MI.BT, incluidas las hojas de interpretación.

Normas Básicas de la Edificación: *Estructuras de Acero en la Edificación* (NBE-EA.95).

Normas Básicas de la Edificación: *Condiciones Acústicas en los Edificios* (NBE-CA).

Normas Básicas de la Edificación: *Condiciones de Protección contra Incendios en los Edificios* (NBE-CPI).

Ordenanzas de Seguridad e Higiene en el Trabajo (OSHT).

Ley de Protección del Ambiente Atmosférico (LPAA).

Ley número 88/67 de 8 de noviembre: *Sistema Internacional de Unidades de Medida S.I.*





A.I.2 NORMATIVA DE CONSULTA

UNE-EN 12975-1: *Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales.*

UNE-EN 12975-2: *Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares. Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 12976-1: *Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares prefabricados. Parte 1: Requisitos generales.*

UNE-EN 12976-2: *Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares prefabricados. Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 12977-1: *Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares a medida. Parte 1: Requisitos generales.*

UNE-EN 12977-2: *Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares a medida. Parte 2: Métodos de ensayo.*

prEN 806-1: *Specifications for installations inside buildings conveying water for human consumption. Part 1: General.*

prEN 1717: *Protection against pollution of potable water in drinking water installations and general requirements of devices to prevent pollution by back flow.*

ENV 1991-2-3: *Eurocode 1. Basis of design and actions on structures. Part 2-3: Action on structures; snow loads.*





ENV 1991-2-4: *Eurocode 1. Basis of design and actions on structures. Part 2-4: Action on structures; wind loads.*

EN 60335-1/1995: *Safety of household and similar electrical appliances. Part 1: General requirements* (IEC 335-1/1991 modified).

EN 60335-2-21: *Safety of household and similar electrical appliances. Part 2: Particular requirements for storage water heaters* (IEC 335-2-21/1989 + Amendments 1/1990 and 2/1990, modified).

ENV 61024-1: *Protection of structures against lightning. Part 1: General principles* (IEC 1024-1/1990, modified).

ISO 9488: *Energía solar. Vocabulario.*

Se considerará la edición más reciente de las normas antes mencionadas, con las últimas modificaciones oficialmente aprobadas.





ANEXO II

DEFINICIONES





A.II.1 PARÁMETROS AMBIENTALES

Radiación solar: Energía procedente del Sol en forma de ondas electromagnéticas.

Radiación solar directa: Radiación solar incidente sobre un plano dado, procedente de un pequeño ángulo sólido centrado en el disco solar.

Radiación solar hemisférica: Radiación solar incidente en una superficie plana dada, recibida desde un ángulo sólido de 2π sr (del hemisferio situado por encima de la superficie). Hay que especificar la inclinación y azimut de la superficie receptora.

Radiación solar difusa: Radiación solar hemisférica menos la radiación solar directa.

Radiación solar global: Radiación solar hemisférica recibida en un plano horizontal.

Irradiancia solar: Potencia radiante incidente por unidad de superficie sobre un plano dado.

Se expresa en W/m^2 .

Irradiancia solar directa: Cociente entre el flujo radiante recibido en una superficie plana dada, procedente de un pequeño ángulo sólido centrado en el disco solar, y el área de dicha superficie. Si el plano es perpendicular al eje del ángulo sólido, la irradiancia solar recibida se llama directa normal. Se expresa en W/m^2 .

Irradiancia solar difusa: Irradiancia de la radiación solar difusa sobre una





superficie receptora plana. Hay que especificar la inclinación y el azimut de la superficie receptora.

Irradiancia solar reflejada: La radiación por unidad de tiempo y unidad de área que, procedente de la reflexión de la radiación solar en el suelo y otros objetos, incide sobre una superficie.

Irradiación: Energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, obtenida por integración de la irradiancia durante un intervalo de tiempo dado, normalmente una hora o un día. Se expresa en MJ/m² o kWh/m².

Aire ambiente: Aire (tanto interior como exterior) que envuelve a un acumulador de energía térmica, a un captador solar o a cualquier objeto que se esté considerando.

A.II.2 INSTALACIÓN

Instalaciones abiertas: Instalaciones en las que el circuito primario está comunicado de forma permanente con la atmósfera.

Instalaciones cerradas: Instalaciones en las que el circuito primario no tiene comunicación directa con la atmósfera.

Instalaciones de sistema directo: Instalaciones en las que el fluido de trabajo es la propia agua de consumo que pasa por los captadores.

Instalaciones de sistema indirecto: Instalaciones en las que el fluido de trabajo se mantiene en un circuito separado, sin posibilidad de comunicarse con el circuito de consumo.





Instalaciones por termosifón: Instalaciones en las que el fluido de trabajo circula por convección libre.

Instalación con circulación forzada: Instalación equipada con dispositivos que provocan la circulación forzada del fluido de trabajo.

Circuito primario: Circuito del que forman parte los captadores y las tuberías que los unen, en el cual el fluido recoge la energía solar y la transmite.

Circuito secundario: Circuito en el que se recoge la energía transferida del circuito primario para ser distribuida a los puntos de consumo.

Circuito de consumo: Circuito por el que circula agua de consumo.

Sistema solar prefabricado: Sistema de energía solar para los fines de preparación sólo de agua caliente, ya sea como un sistema compacto o como un sistema partido. Consiste bien en un sistema integrado o bien un conjunto y configuración uniformes de componentes. Se produce bajo condiciones que se presumen uniformes y ofrecidas a la venta bajo un solo nombre comercial. Un solo sistema puede ser ensayado como un todo en un laboratorio, dando lugar a resultados que representan sistemas con la misma marca comercial, configuración, componentes y dimensiones.

Sistemas de energía auxiliar conectados en serie con el sistema solar prefabricado no se consideran partes del mismo.

Sistema compacto: Equipo solar prefabricado cuyos elementos se encuentran montados en una sola unidad, aunque físicamente pueden estar diferenciados.

Sistema partido: Equipo solar prefabricado cuyos elementos principales





(captación y acumulación) se pueden encontrar a una distancia física relevante.

Sistema integrado: Equipo solar prefabricado cuyos elementos principales (captación y acumulación) constituyen un único componente y no es posible diferenciarlos físicamente.

A.II.3 CAPTADORES

Captador solar térmico: Dispositivo diseñado para absorber la radiación solar y transmitir la energía térmica así producida a un fluido de trabajo que circula por su interior.

Captador solar de líquido: Captador solar que utiliza un líquido como fluido de trabajo.

Captador solar de aire: Captador solar que utiliza aire como fluido de trabajo.

Captador solar plano: Captador solar sin concentración cuya superficie absorbedora es sensiblemente plana.

Captador sin cubierta: Captador solar sin cubierta sobre el absorbedor.

Captador de concentración: Captador solar que utiliza reflectores, lentes u otros elementos ópticos para redireccionar y concentrar sobre el absorbedor la radiación solar que atraviesa la apertura.

Captador de vacío: Captador en el que se ha realizado el vacío en el espacio entre absorbedor y cubierta.





Captador de tubos de vacío: Captador de vacío que utiliza un tubo transparente (normalmente de cristal) donde se ha realizado el vacío entre la pared del tubo y el absorbedor.

Cubierta: Elemento o elementos transparentes (o translúcidos) que cubren el absorbedor para reducir las pérdidas de calor y protegerlo de la intemperie.

Absorbedor: Componente de un captador solar cuya función es absorber la energía radiante y transferirla en forma de calor a un fluido.

Placa absorbente: Absorbedor cuya superficie es sensiblemente plana.

Apertura: Superficie a través de la cual la radiación solar no concentrada es admitida en el captador.

Área de apertura: Es la máxima proyección plana de la superficie del captador transparente expuesta a la radiación solar incidente no concentrada.

Área total: Área máxima proyectada por el captador completo, excluyendo cualquier medio de soporte y acoplamiento de los tubos expuesta.

Fluido de transferencia de calor o fluido de trabajo: Es el fluido encargado de recoger y transmitir la energía captada por el absorbedor.

Carcasa: Es el componente del captador que conforma su superficie exterior, fija la cubierta, contiene y protege a los restantes componentes del captador y soporta los anclajes del mismo.

Materiales aislantes: Son aquellos materiales de bajo coeficiente de conductividad térmica cuyo empleo en el captador solar tiene por objeto reducir las pérdidas de calor por la parte posterior y laterales.





Junta de cubierta: Es un elemento cuya función es asegurar la estanquidad de la unión cubierta-carcasa.

Temperatura de estancamiento del captador: Corresponde a la máxima temperatura del fluido que se obtiene cuando, sometido el captador a altos niveles de radiación y temperatura ambiente y siendo la velocidad del viento despreciable, no existe circulación en el captador y se alcanzan condiciones cuasi-estacionarias.

A.II.4 COMPONENTES

Intercambiador de calor: Dispositivo en el que se produce la transferencia de energía del circuito primario al circuito secundario.

Acumulador solar o depósito solar: Depósito en el que se acumula el agua calentada por energía solar.

Depósito de expansión: Dispositivo que permite absorber las variaciones de volumen y presión en un circuito cerrado producidas por las variaciones de temperatura del fluido circulante. Puede ser abierto o cerrado, según esté o no en comunicación con la atmósfera.

Bomba de circulación: Dispositivo electromecánico que produce la circulación forzada del fluido a través de un circuito.

Purgador de aire: Dispositivo que permite la salida del aire acumulado en el circuito. Puede ser manual o automático.





Válvula de seguridad: Dispositivo que limita la presión máxima del circuito.

Válvula anti-retorno: Dispositivo que evita el paso de fluido en un sentido.

Controlador diferencial de temperaturas: Dispositivo electrónico que comanda distintos elementos eléctricos de la instalación (bombas, electroválvulas, etc.) en función, principalmente, de las temperaturas en distintos puntos de dicha instalación.

Termostato de seguridad: Dispositivo utilizado para detectar la temperatura máxima admisible del fluido de trabajo en el algún punto de la instalación.

Controlador anti-hielo: Dispositivo que impide la congelación del fluido de trabajo.

A.II.5 OTRAS DEFINICIONES

Almacenamiento estacional: Es el que se produce o realiza durante una estación o parte del año.

Archivo de clasificación: Es el archivo de documentación técnica para sistemas solares de calentamiento pequeños a medida de una Compañía, el cual incluye:

- Clasificación completa para sistemas pequeños a medida.
- Descripción completa de todas las configuraciones del sistema.
- Descripción completa de todas las combinaciones comercializadas de las configuraciones del sistema y componentes, incluyendo dimensiones de éstos y número de unidades.





- Información técnica de todo. Referencia : *Sistemas solares de calentamiento pequeños a medida*, UNE 12977-1, párrafo 3.2.

Archivo de documentación: La documentación del sistema deberá ser completa y entendible:

- Todos los componentes de cada sistema pequeño a medida deberán ir provistos con un conjunto de instrucciones de montaje y funcionamiento entendibles, así como recomendaciones de servicio. Esta documentación deberá incluir todas las instrucciones necesarias para el montaje, instalación, operación y mantenimiento. Estas instrucciones deberán incluir toda la información que contiene la lista de 4.6 de EN 12976-1:2000.
- Cada sistema grande a medida deberá ir provisto con un conjunto de instrucciones de montaje y funcionamiento, así como recomendaciones de servicio. Esta documentación deberá incluir todas las instrucciones necesarias para el montaje, instalación, operación y mantenimiento y todos los registros de arranque inicial y puesta en servicio de acuerdo con 6.6. de la UNE 12977-1.
- Los documentos deberán ser guardados en un lugar visible (preferentemente cerca del acumulador), protegidos del calor, agua y polvo.





ANEXO III

PRUEBAS Y DOCUMENTACIÓN





A.III.1 PRUEBAS

El suministrador entregará al usuario un documento-albarán en el que conste el suministro de componentes, materiales y manuales de uso y mantenimiento de la instalación. Este documento será firmado por duplicado por ambas partes, conservando cada una un ejemplar.

Las pruebas a realizar por el instalador serán, como mínimo, las siguientes:

- Llenado, funcionamiento y puesta en marcha del sistema.
- Se probarán hidrostáticamente los equipos y el circuito de energía auxiliar.
- Se comprobará que las válvulas de seguridad funcionan y que las tuberías de descarga de las mismas no están obturadas y están en conexión con la atmósfera. La prueba se realizará incrementando hasta un valor de 1,1 veces el de tarado y comprobando que se produce la apertura de la válvula.
- Se comprobará la correcta actuación de las válvulas de corte, llenado, vaciado y purga de la instalación.
- Se comprobará que alimentando (eléctricamente) las bombas del circuito, entran en funcionamiento y el incremento de presión indicado por los manómetros se corresponde en la curva con el caudal del diseño del circuito.
- Se comprobará la actuación del sistema de control y el comportamiento global de la realizando una prueba de funcionamiento diario, consistente en verificar, que, en un día claro, las bombas arrancan por la mañana, en un tiempo prudencial, y paran al atardecer, detectándose en el depósito saltos de temperatura significativos.





Concluidas las pruebas y la puesta en marcha se pasará a la fase de la Recepción Provisional de la instalación, no obstante el Acta de Recepción Provisional no se firmará hasta haber comprobado que todos los sistemas y elementos han funcionado correctamente durante un mínimo de un mes, sin interrupciones o paradas.

A.III.2 DOCUMENTACIÓN

A.III.2.A DOCUMENTACIÓN PARA SISTEMAS SOLARES PREFABRICADOS

A.III.2.A.1 GENERALIDADES

Con cada sistema solar prefabricado, el fabricante o distribuidor oficial deberá suministrar instrucciones para el montaje e instalación (para el instalador) e instrucciones de operación (para el usuario). Estos documentos deberán estar escritos en el idioma(s) oficial(es) del país de venta y deberán incluir todas las instrucciones necesarias para el montaje y operación, incluyendo mantenimiento, y prestando atención a mayores requisitos y reglas técnicas de interés.

A.III.2.A.2 DOCUMENTOS PARA EL INSTALADOR

Las instrucciones de montaje deberán ser apropiadas al sistema e incluir información concerniente a:





a) Datos técnicos, aquellos que se refieren a:

- 1) Diagramas del sistema.
- 2) Localización y diámetros nominales de todas las conexiones externas.
- 3) Un resumen con todos los componentes que se suministran (como captador solar, depósito de acumulación, estructura soporte, circuito hidráulico, provisiones de energía auxiliar, sistema de control/regulación y accesorios), con información de cada componente del modelo, potencia eléctrica, dimensiones, peso, marca y montaje.
- 4) Máxima presión de operación de todos los circuitos de fluido del sistema, tales como el circuito de captadores, el circuito de consumo y el circuito de calentamiento auxiliar (en kg/cm²).
- 5) Límites de trabajo: temperaturas y presiones admisibles, etc. a través del sistema.
- 6) Tipo de protección contra la corrosión.
- 7) Tipo de fluido de transferencia de calor.

b) Embalaje y transporte de todo el sistema y/o componentes y modo de almacenaje (exterior, interior, embalado, no embalado).

c) Guías de instalación con recomendaciones sobre:

- 1) Superficies de montaje.
- 2) Distancias a paredes y seguridad en relación con el hielo.
- 3) Forma en la que las tuberías de entrada al edificio han de estar terminadas (resistencia a lluvia y humedad).
- 4) Procedimiento a seguir para el aislamiento térmico de las tuberías.
- 5) Integración en el tejado del captador (si es apropiado).





d) Si una estructura soporte que normalmente montada al exterior es parte del sistema, los valores máximos de s_k (carga de nieve) y v_m (velocidad principal de viento) de acuerdo con ENV 1991-2-3 y ENV 1991-2-4 y una declaración de que el sistema sólo puede ser instalado en sitios con valores menores de s_k y v_m .

e) Método de conexión de tuberías.

f) Tipos y tamaños de los dispositivos de seguridad y su drenaje. Las instrucciones de montaje deberán indicar que cualquier válvula de tarado de presión que se instale por la cual pueda salir vapor en condiciones de operación normal o estancamiento, habrá de ser montada de tal forma que no se produzcan lesiones, agravios o daños causados por el escape de vapor. Cuando el sistema esté equipado para drenar una cantidad de agua como protección contra sobrecalentamiento, el drenaje de agua caliente debe estar construido de tal forma que el agua drenada no cause ningún daño al sistema ni a otros materiales del edificio.

g) Los dispositivos necesarios de control y seguridad con esquema unifilar, incluyendo la necesidad de una válvula termostática de mezcla que limite la temperatura de extracción a 60 °C, cuando así se requiera.

h) Revisión, llenado y arranque del sistema.

i) Montaje del sistema.

j) Una lista de comprobación para el instalador para verificar el correcto funcionamiento del sistema.

k) La mínima temperatura hasta la cual el sistema puede soportar heladas.





A.III.2.A.3 DOCUMENTOS PARA EL USUARIO

Las instrucciones de operación deberán incluir información concerniente a:

a) Componentes de seguridad existentes y ajustes de termostato cuando sea aplicable.

b) Implementación del sistema poniendo especial atención en el hecho de que:

1) Antes de poner el sistema en operación se debe comprobar que todas las válvulas trabajan correctamente y que el sistema está llenado completamente con agua y/o fluido anticongelante de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

2) En caso de cualquier avería, deberá llamarse a un especialista.

c) Operación normal de las válvulas de seguridad.

d) Precauciones en relación con riesgo de daños por congelación o sobrecalentamientos.

e) La manera de evitar averías cuando se arranque el sistema bajo condiciones de congelación o posible congelación.

f) Desmontaje del sistema.

g) Mantenimiento del sistema por un especialista, incluyendo frecuencia de inspecciones y mantenimiento y una lista de partes que tienen que ser repuestas durante el mantenimiento normal.





h) Datos de rendimiento del sistema.

- 1) Rango de cargas recomendado para el sistema (en l/día) a la temperatura especificada.
- 2) Consumo de electricidad anual de bombas, sistemas de control y válvulas eléctricas del sistema para las mismas condiciones que las especificadas para el rendimiento térmico, asumiendo un tiempo de operación de la bomba de captadores de 2000 h.
- 3) Si el sistema contiene dispositivos de protección contra heladas que causen consumo eléctrico, se hará constar la potencia eléctrica de estos dispositivos (en W) y sus características (temperatura de arranque).

i) Cuando el sistema de protección contra heladas dependa de la electricidad y/o suministro de agua fría y/o el sistema haya sido llenado con agua de consumo, el requisito de no cortar nunca el suministro eléctrico y/o el suministro de agua fría, o que el sistema no sea drenado cuando haya alta radiación solar.

j) El hecho de que durante situaciones de alta radiación, agua de consumo puede ser drenada, si éste es el método usado para prevenir sobrecalentamientos.

k) Mínima temperatura hasta la cual el sistema puede soportar heladas.

l) Tipo de fluido de transferencia de calor.

m) En caso de sistemas con calentadores de emergencia, habrá de indicarse que dicho calentador deberá ser usado para propósitos de emergencia.





A.III.2.B DOCUMENTACIÓN PARA SISTEMAS SOLARES A MEDIDA

La documentación del sistema descrita a continuación deberá ser completa y entendible.

Para sistemas pequeños debería estar disponible la documentación técnica describiendo la clasificación propuesta por la Compañía, estando establecido el archivo de acuerdo con

A.III.2.B.1. DEBERÁ SUMINISTRARSE UNA DOCUMENTACIÓN DE CADA SISTEMA DE ACUERDO CON A.III.2.B.2.

Para sistemas grandes, deberá suministrarse una documentación completa del sistema de acuerdo con A.III.2.B.3.

A.III.2.B.1 FICHERO DE CLASIFICACIÓN PARA SISTEMAS PEQUEÑOS

La documentación describiendo la clasificación de los sistemas pequeños debería incluir:

- a) Todas las configuraciones propuestas del sistema incluyendo los esquemas hidráulicos y de control y las especificaciones que permitan al usuario entender el modo de funcionamiento del sistema.
- b) Lista de componentes a incluir dentro de las configuraciones del sistema, con referencias completas de dimensión y tipo. La identificación de los componentes de la lista deberá ser fácil y sin ambigüedades.





c) Una lista de combinaciones propuestas de opciones dimensionales en cada una de las configuraciones del sistema.

d) Diagramas o tablas estableciendo el rendimiento del sistema bajo condiciones de referencia para cada combinación propuesta de opciones dimensionales en cada configuración del sistema. Las condiciones de referencia deberían estar completamente especificadas incluyendo supuestos hechos en cargas térmicas y datos climatológicos.

Las cargas térmicas supuestas deberían de estar en el rango comprendido entre 0,5 y 1,5 veces la carga de diseño especificada por el fabricante.

A.III.2.B.2 DOCUMENTACIÓN PARA SISTEMAS PEQUEÑOS

Todos los componentes de cada sistema pequeño a medida deberán ir provistos con un conjunto de instrucciones de montaje y funcionamiento entendibles, así como recomendaciones de servicio. Esta documentación deberá incluir todas las instrucciones necesarias para el montaje, instalación, operación y mantenimiento.

Los documentos deberán ser guardados en un lugar visible (preferentemente cerca del acumulador), protegidos del calor, agua y polvo.

A.III.2.B.3 DOCUMENTOS PARA SISTEMAS GRANDES

Cada sistema grande a medida deberá ir provisto con un conjunto de instrucciones de montaje y funcionamiento, así como recomendaciones de servicio. Esta documentación deberá incluir todas las instrucciones necesarias





para el montaje, instalación, operación y mantenimiento, y todas las de arranque inicial y puesta en servicio.

Los documentos deberán ser guardados en un lugar visible (preferentemente cerca del acumulador), protegidos del calor, agua y polvo.

A.III.2.B.3.1 DOCUMENTOS CON REFERENCIA A LA PUESTA EN SERVICIO

La documentación debería incluir:

- a) Todos los supuestos hechos en la carga (ofreciendo conjunto de valores en el intervalo $\pm 30 \%$ sobre la carga media seleccionada).
- b) Referencia completa de los datos climáticos usados.
- c) Registro completo del método usado para el dimensionado del área de captadores, sistema(s) de almacenamiento e intercambiador de calor, incluyendo todas los supuestos (fracción solar deseada) y referencia completa a cualquier programa de simulación usado.
- d) Registro completo de los procedimientos usados para el dimensionado hidráulico del circuito de captadores y sus componentes.
- e) Registro completo de procedimientos usados para la predicción del rendimiento térmico del sistema, incluyendo referencia completa al programa de simulación usado.

A.III.2.B.3.2 DOCUMENTOS DE MONTAJE E INSTALACIÓN

Los documentos deberán cumplir con los puntos a), e), f), g), h), j) y k) de A.III.2.A.2.

La descripción del montaje e instalación del sistema deberá dar lugar a





una instalación correcta de acuerdo con los dibujos del sistema.

La documentación deberá cumplir con los párrafos a), f) y g) de A.III.2.A.2.

Los documentos deberán incluir también:

- a) Esquemas hidráulicos y eléctricos del sistema.
- b) Descripción del sistema de seguridad con referencia a la localización y ajustes de los componentes de seguridad.

NOTA: Se debería dar una guía para la comprobación del sistema antes de ponerlo en funcionamiento de nuevo después de haber descargado una o más válvulas de seguridad.

- c) Acción a tomar en caso de fallo del sistema o peligro, como está especificado según concepto de seguridad.
- d) Descripción del concepto y sistema de control incluyendo la localización de los componentes del control (sensores). Éstos deberían estar incluidos en el esquema hidráulico del sistema.
- e) Instrucciones de mantenimiento incluyendo arranque y parada del sistema.
- f) Comprobación de función y rendimiento.





ANEXO IV

COLECTORES Y ESTRUCTURA SOPORTE





A.IV.1. COLECTORES SOLARES

A.IV.1.1.FUNCIONAMIENTO

Los captadores solares térmicos Termicol están desarrollados para aplicaciones de aprovechamiento térmico a baja temperatura (inferior a 100 °C). Su capacidad para producir calor se basa en dos fenómenos bien conocidos: el efecto invernadero y la capacidad de absorción de calor de los cuerpos. Además, están diseñados para soportar las más duras condiciones climáticas.

Para su construcción se emplean los materiales más avanzados con el fin de obtener una larga vida útil y el máximo rendimiento energético.

Los captadores solares transforman la energía del sol en energía calorífica, elevando la temperatura de un fluido, agua o anticongelante, que circula por su interior. Entre las múltiples aplicaciones podemos destacar la producción de agua caliente sanitaria, la climatización de piscinas, calefacción, refrigeración...

A.IV.1.2.NOMENCLATURA Y GAMA

Termicol cuenta con una amplia gama de captadores solares térmicos homologados.

Existen modelos,

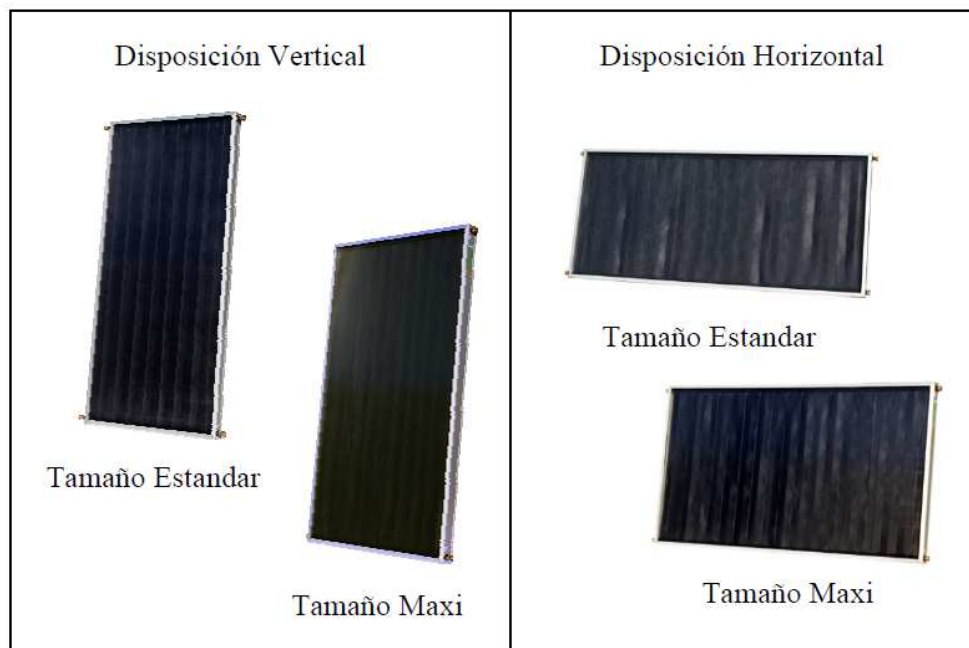
De dos tamaños (1,9 y 2,4 m² de superficie útil).

Con dos tipos de absorbedor (SELECTIVO y CROMO NEGRO)

Para diferentes posiciones (VERTICAL y HORIZONTAL)



MODELO	POSICIÓN	TRATAMIENTO	SUP.ÚTIL (m ²)
T20C-R	VERTICAL	CROMO NEGRO	1,9
T25C-R			2,4
T20S-R		SELECTIVO	1,9
T25S-R			2,4
T20SH-R	HORIZONTAL	SELECTIVO	1,9
T25SH-R			2,4



A.IV.1.3.COMPONENTES

- **Absorbedor:** formado por un emparrillado de tubos de cobre con aletas de cobre soldadas por ultrasonidos y soldados a dos tubos colectores superior e inferior.

La unión entre tubos está realizada por soldadura fuerte por capilaridad con aportación de material de alto punto de fusión. La unión de las aletas y los tubos está realizada mediante soldadura por ultrasonidos.

El tratamiento superficial que se le aplica a las aletas del absorbedor en los modelos T20C-R y T25C-R es una aplicación de pintura negra de cromo.

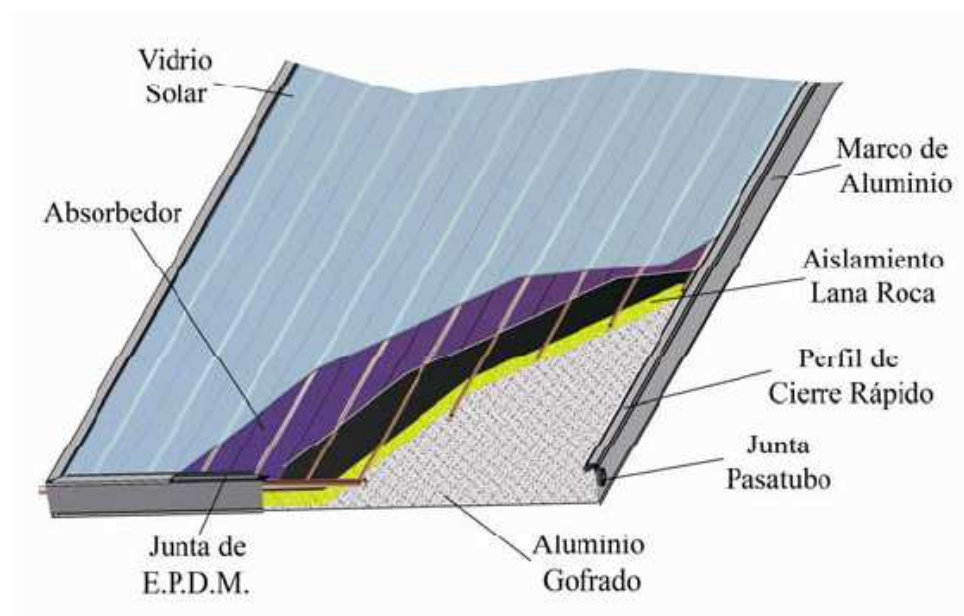
El tratamiento superficial que se aplica en los modelos T20S-R, T25S-R, T20SH-R y T25SH-R es del tipo selectivo.

- **Cubierta transparente:** vidrio templado extraclaro de 3,2 mm. de espesor, con bajo contenido en hierro y transmisividad superior al 90%.

- **Carcasa:** formada por perfilería de aluminio anodizado extruido y dorso con lámina de aluminio gofrado

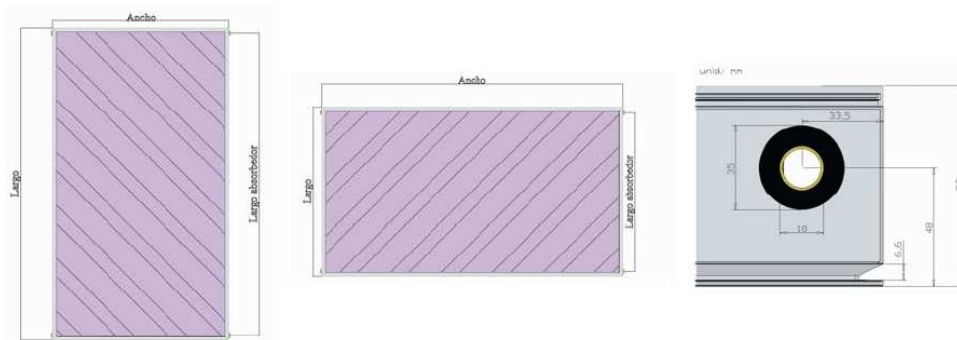
- **Aislamiento:** lana de roca semirrígida de 40 mm. de espesor.

- **Conexiones:** la unión entre captadores se realiza mediante un enlace cónico de compresión incorporado al captador y preparado para unirse sin juntas ni teflón.



A.IV.1.4. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

En los siguientes esquemas y tabla se muestran las dimensiones principales de los captadores verticales y horizontales:



	T20C-R	T25C-R	T20S-R	T25S-R	T20SH-R	T25SH-R
Largo (mm)	2.124				970	1200
Ancho (mm)	970	1200	970	1200	2.124	2.124
Largo absorbedor (mm)	2057				903	1133
Espesor (mm)	83					
Superficie bruta (m²)	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	2,5
Superficie útil (m²)	1,9	2,4	1,9	2,4	1,9	2,4
Rendimiento Óptico	0,739	0,741	0,770	0,770	0,728	0,731
Factor de pérdidas K ₁ (W/ K*m²)	6,341	6,191	4,086	3,663	4,989	4,308
Factor de pérdidas K ₂ (W/ K*m²)	0,017	0,016	0,013	0,016	0,014	0,016
Peso en vacío (kg)	30	37	30	37	30	37
Capacidad de fluido (lit.)	1,02	1,27	1,02	1,27	0,95	1,05
Caudal recomendado (lit./h*m²)	30-40					
Material del absorbedor	cobre					
Tratamiento del absorbedor	Pintura negra de Cromo		Selectivo			
Espesor aleta de cobre (mm)	0,2					
Nº canales	8	10	8	10	18	18
Diámetro de canales (mm)	8					
Diámetro tubo colector (mm)	18					
Carcasa	Aluminio					
Material cubierta	Vidrio templado 3,2 mm					
Aislamiento	40 mm, lana de roca semirrígida					





A.IV.1.5. CURVAS DE RENDIMIENTO


La caracterización energética de un captador solar viene definida por su rendimiento. En general, se define el rendimiento de un captador como la relación entre el flujo energético que le llega (es decir, la radiación solar) y la energía útil que se transmite al fluido caloportador. Sin embargo, este rendimiento se caracteriza por no ser constante, lo que obliga a definirlo mediante una curva dependiente de tres parámetros externos: la irradiancia, la temperatura ambiente y la temperatura de entrada en el captador del fluido caloportador.

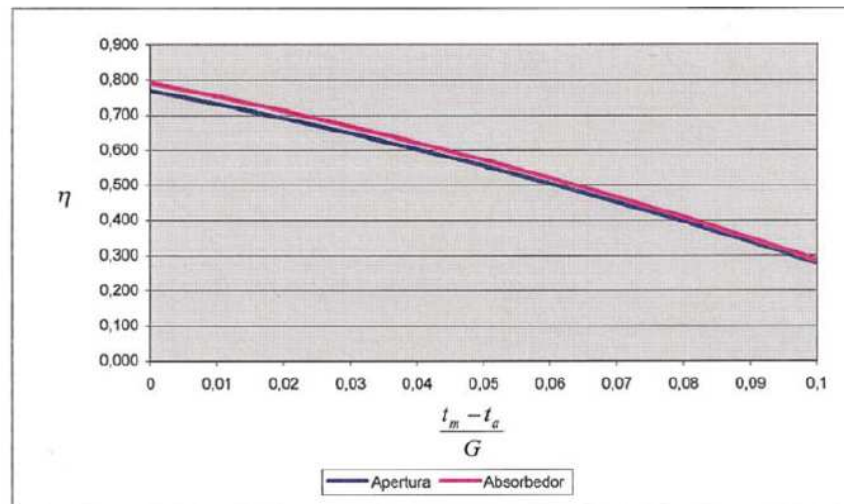
Los coeficientes que acompañan a estas variables definen el comportamiento del captador en términos de ganancias (coeficiente independiente de la curva) y de pérdidas, pudiendo establecerse un criterio de calidad energética de éste en función de los valores que tengan estos coeficientes. Dichos coeficientes serán tanto mejores (altas ganancias y bajas pérdidas) cuanto más cuidado se haya puesto en la selección de los materiales que componen el captador y en su proceso de fabricación.

Por este motivo, se facilitan los valores de los coeficientes obtenidos en los ensayos energéticos dictados por la norma EN 12975 y obtenidos en laboratorios independientes acreditados para poder realizar este tipo de pruebas.



MODELO TERMICOL T25SH-R: CONTRASEÑA DE HOMOLOGACIÓN NPS-19607

	INFORME DE ENSAYO	LABORATORIO DE CAPTADORES SOLARES
---	--------------------------	---



η_{0a}	:	0,770	
a_{1a}	:	3,663	W/m ² K
a_{2a}	:	0,016	W/m ² K ²

A.IV.2. ESTRUCTURA SOPORTE

A.IV.2.1. ESTRUCTURA SOPORTE

La estructura de apoyo de captadores está formada por perfiles de acero normalizados, cortados, taladrados y posteriormente galvanizados en caliente para resistir los efectos de la intemperie. La unión entre las distintas barras que componen la estructura se realiza mediante tornillería de seguridad de acero inoxidable.





Son estructuras estándar para 1 y 2 captadores, que se unen entre sí para formar baterías de 3, 4, 5 y 6 unidades. En las baterías de 3 y 5 captadores, es necesario un perfil horizontal de suplemento.

El peso de cada panel se transmite a un triángulo soporte formado por 3 barras atornilladas entre sí. Los captadores se fijan a la estructura a través de garras de sujeción realizadas a medida (4 por panel).

Según sea la forma de la cubierta, Termicol suministra estructuras en terraza plana y en cubierta inclinada:

Las estructuras estándar en **terracea plana** tienen una inclinación con respecto a la horizontal de 45°. En captadores verticales pueden lograrse 40° y 50° modificando la posición de los perfiles.

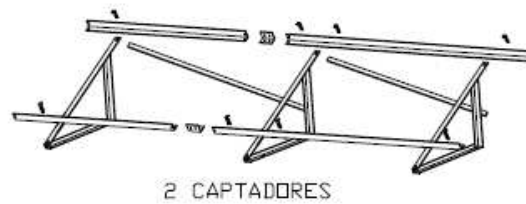
Las estructuras para **cubierta inclinada** proporcionan a los captadores la misma pendiente de la cubierta.

Para **otras inclinaciones** (20°, 25°...) varían las dimensiones de los distintos perfiles (consultar disponibilidad y precios).

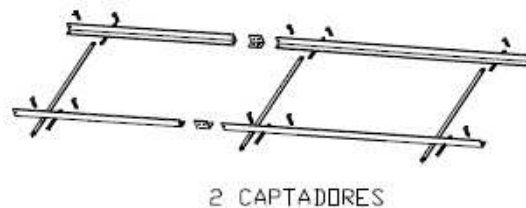
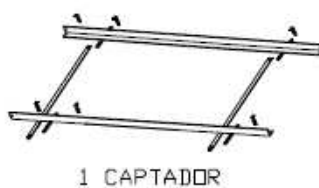
Para los captadores **horizontales T20SH-R y T25SH-R** existen estructuras estándar a 45° para 1, 2 y 3 unidades.



TERRAZA PLANA



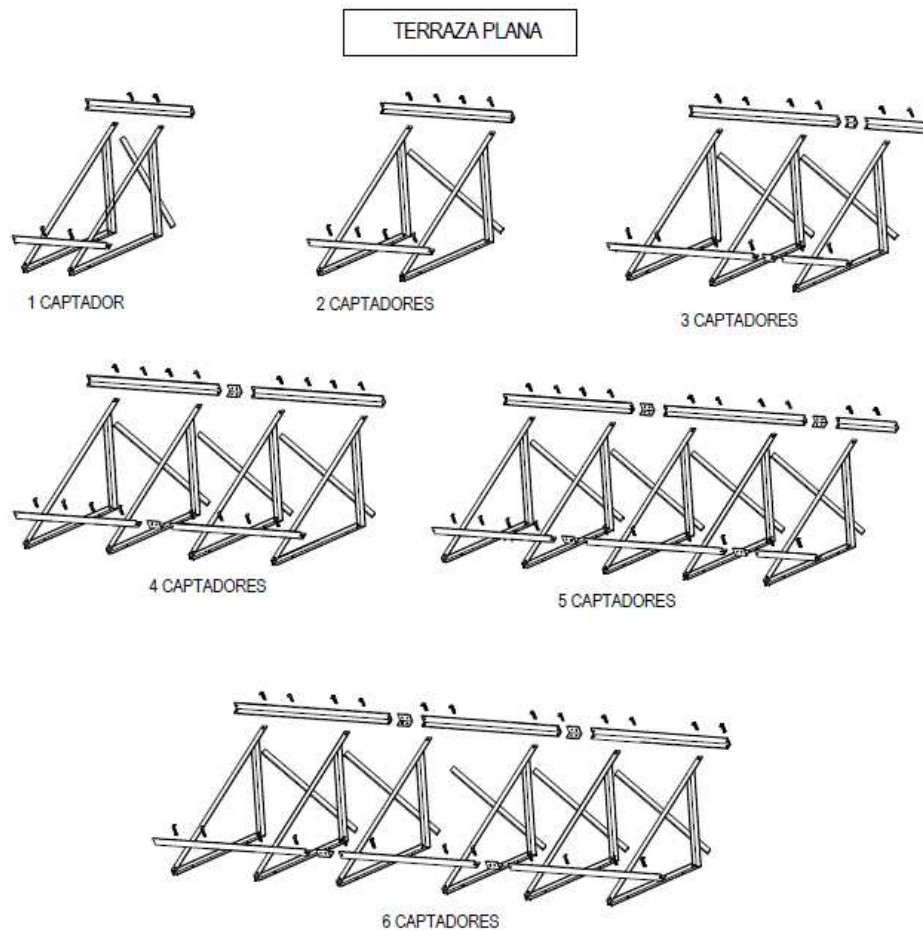
CUBIERTA INCLINADA

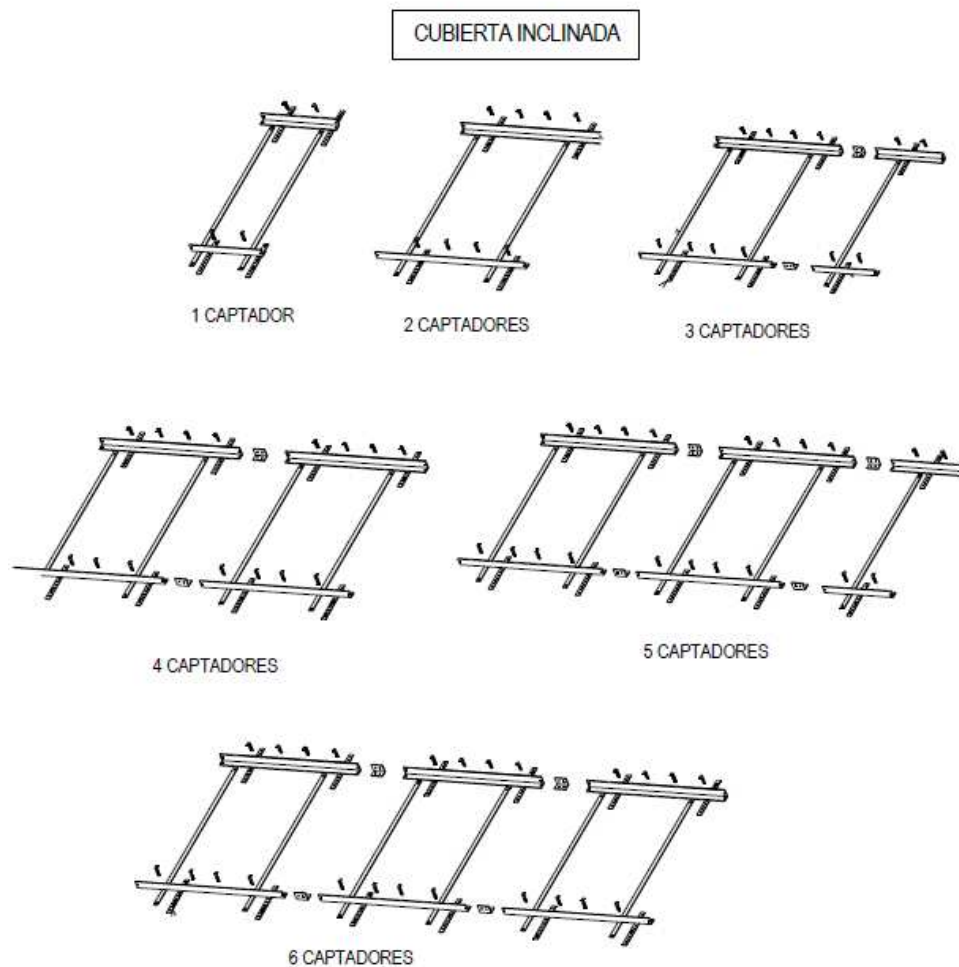


De la misma manera, para los captadores **verticales T20C-R, T25C-R, T20S-R y T25S-R** existen estructuras estándar a 45º para 1 y 2 captadores.

Las baterías de 3, 4, 5 y 6 paneles se montan componiendo las estructuras de 1 y 2 captadores a través de uniones a medida.

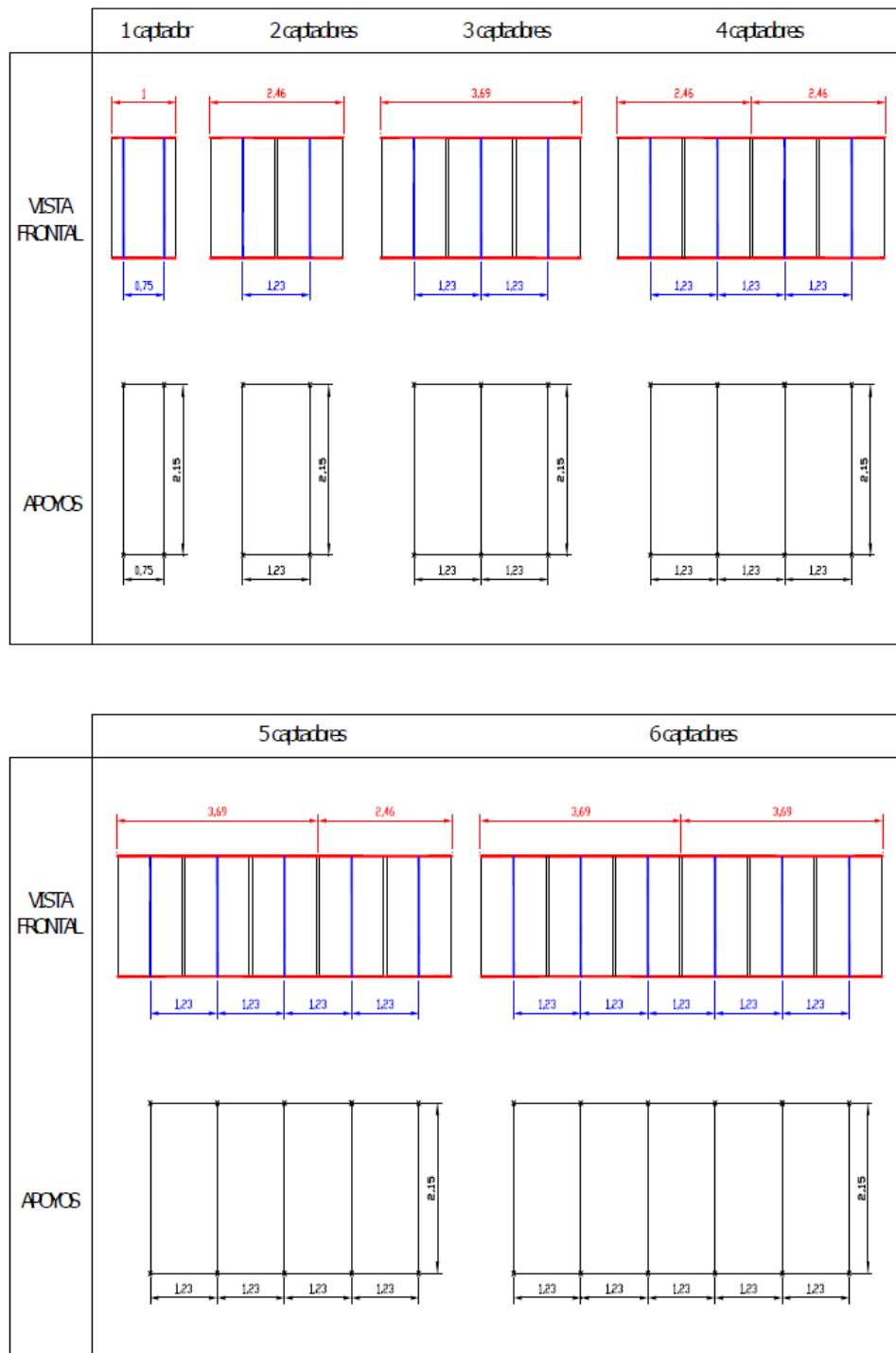






CAPTADORES T25C-R Ó T25S-R. CUBIERTA INCLINADA







ANEXO V

INSTRUCCIONES DE MONTAJE





A.V.1.MONTAJE DE LOS CAPTADORES

Los captadores se montan siguiendo las recomendaciones indicadas en el apartado 2.7 de este manual.

A.V.1.1. UBICACIÓN DE LOS CAPTADORES

Los captadores estarán orientados al Sur geográfico (permitiéndose pequeñas desviaciones según la normativa vigente) y libre de sombras de otros objetos en los 180º de su parte frontal. Si no se dispone de una brújula, puede situar una varilla en posición vertical a las 12 horas solares (14 en verano y 13 en invierno). La sombra proyectada por esta quedará perpendicular a la cara activa del captador.

El ángulo de inclinación óptimo es el de la latitud $\pm 10^\circ$.

A.V.1.2. MANIPULACIÓN Y MONTAJE DE LOS CAPTADORES

A.V.1.2.1. MANIPULACIÓN:

Una vez despaletizados los captadores, se deben manejar teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

No apoyar directamente los captadores sobre sus conexiones.

Para apoyar varios captadores en vertical sobre una pared deben colocarse con una inclinación de entre 70º y 80º, y con la cubierta de vidrio orientada hacia la pared.



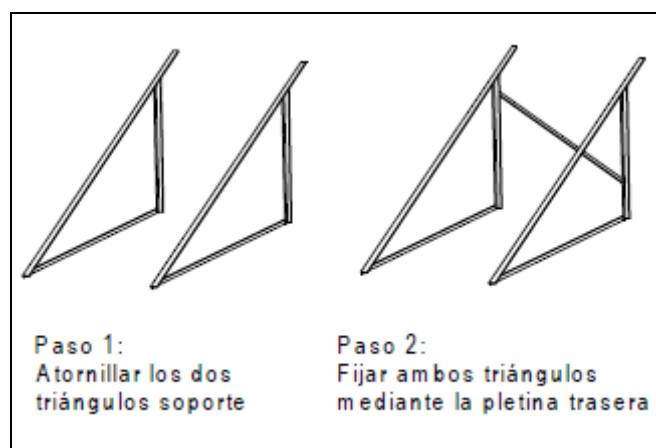
A.V.1.2.2.MONTAJE:

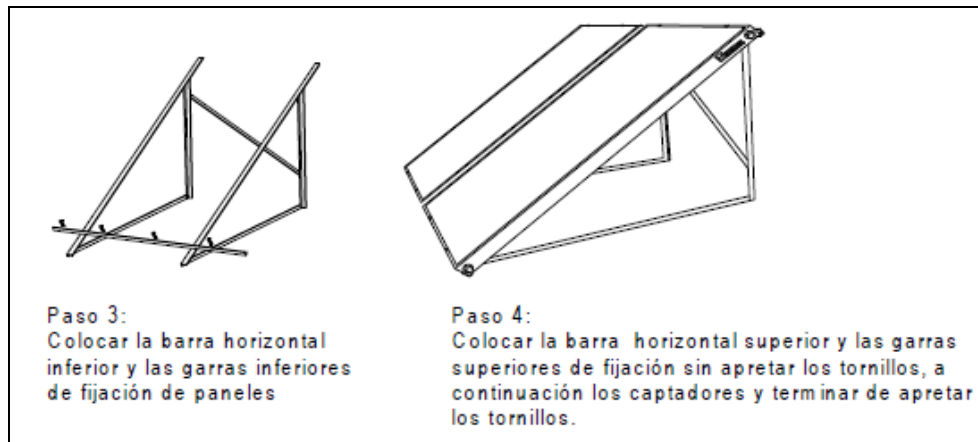
Es conveniente cubrir los captadores durante la instalación y, una vez instalados, hasta el llenado del sistema, con esto evitamos sobre-calentamientos y quemaduras accidentales.

A.V.1.3. MONTAJE DE LA ESTRUCTURA SOPORTE Y LOS CAPTADORES

En la siguiente figura pueden verse los pasos a seguir para el montaje de la estructura de dos captadores.

El montaje de las estructuras de 3, 4, 5 y 6 captadores se realiza uniendo entre sí los grupos de uno y dos captadores. Dicha unión entre grupos se realiza a través de piezas de acople a medida.





A.V.2.LLENADO DE LOS EQUIPOS FORZADOS

El llenado debe realizarse a primeras horas de la mañana, durante la puesta de sol o durante el resto del día si se mantienen los captadores tapados. Deberá siempre llenarse el **circuito secundario antes que el primario**.

Circuito primario: circuito formado por los captadores y las tuberías que los unen, en el que el fluido de trabajo recoge la energía térmica producida en los captadores y la transfiere al acumulador solar.

Circuito secundario: circuito en el que se recoge la energía captada en el circuito primario y se transfiere al circuito de consumo.

Circuito de consumo: circuito que parte de la red de distribución de los sistemas de abastecimiento y llega a los puntos de consumo. Este circuito transporta agua potable de consumo.

Si la presión de entrada a la vivienda es superior a 4 bares, es recomendable instalar un reductor de presión que proteja a todo el sistema.





La tubería de cobre del circuito primario solar deberá estar aislada con coquilla de 25 mm si dicha tubería discurre por el interior de la vivienda, o bien, de 35 mm si lo hace por el exterior. Este aislamiento se protegerá adecuadamente con pintura especial para intemperie y estará soportada de acuerdo a lo que marque la normativa vigente.

En la entrada del agua de red al depósito, se montará un grupo de seguridad formado por válvula de seguridad tarada a 7 bar, válvula antiretorno y dispositivo de vaciado.

Con objeto de aislar el acumulador y permitir realizar reparaciones o mantenimientos sin necesidad de vaciar toda la instalación, deberá instalarse una válvula de corte tanto en la entrada de agua fría como en la salida de caliente.

La limpieza interna de las tuberías se realiza conectando el circuito hidráulico a la red de suministro de agua. Se eliminan así los restos de soldaduras, decapantes y demás residuos creados durante el montaje de la red hidráulica.

Una vez realizadas las pertinentes pruebas de presión en la instalación se procederá al llenado del circuito primario.

El llenado de los equipos forzados se realizará desde el punto más bajo de la instalación. Para facilitar la salida del aire, se abrirá inicialmente la válvula de corte situada en el punto más alto de la instalación (normalmente la salida de captadores).

Una vez limpio y purgado el interior del circuito primario, se incorporará la cantidad de fluido anticongelante necesaria para proteger al equipo frente a las heladas.

Se recomienda introducir la mezcla de agua y fluido anticongelante desde el punto más bajo de la instalación, para ello es necesario quitar previamente el





purgador de la zona superior. Si el anticongelante se introduce desde el punto más alto de los captadores, se ha de tener la precaución de ir vaciando el circuito de agua lentamente, con el objeto de no crear bolsas de aire en el circuito.

Poniendo en marcha la bomba circuladora, en unos minutos se realiza el mezclado de ambos fluidos, agua y fluido anticongelante.

Las pequeñas burbujas de aire que puedan quedar atrapadas en la bomba se eliminan a través del tornillo de purga de la bomba.

El resto del aire se acumulará en el botellín de desaire colocado en la parte superior de la instalación.





ANEXO VI

MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN





El objeto de este apartado es definir las operaciones que deben seguirse para el adecuado mantenimiento de los equipos solares, y de esta forma contribuir al buen funcionamiento, durabilidad, fiabilidad y disponibilidad de los mismos, aumentando de esta forma el ahorro energético y económico.

En el programa de mantenimiento se definen tres grados de actuación para englobar todas las operaciones necesarias realizar durante la vida útil de la instalación, para garantizar el correcto funcionamiento de la instalación solar, así como su durabilidad, fiabilidad y disponibilidad.

Se establecen tres grados de actuación y para cada uno de los ellos se establecen los objetivos que se deben conseguir, las acciones a realizar y quien las debe ejecutar.

AVI.1 OPERACIONES DE MANTENIMIENTO A REALIZAR POR EL USUARIO

A.VI.1.1. VIGILANCIA

El programa de vigilancia es el definido en el manual de uso y normalmente será llevado a cabo por el usuario. Las operaciones a realizar se enumeran a continuación:

- *Captadores*: observar si se produce humedad o condensación.
- *Acumulador*: observar si aparecen fugas en las conexiones.
- *Conexiones*: observar si hay fugas, si el aislamiento está húmedo o si la pintura que lo cubre está muy deteriorada.
- *Estructura*: observar si hay corrosión y si los tornillos están bien apretados.





A.VI.1.2. CONTROL

El usuario debe realizar las siguientes operaciones de control y mantenimiento al menos una vez al mes:

- 1) *Comprobar la presión del circuito.* Ésta comprobación ha de realizarse en frío, preferiblemente a primeras horas de la mañana. Cuando la presión baje de 1,5 kg/ cm² deberá proceder al rellenado del circuito hidráulico o ponerse en contacto con la empresa con la que tenga contratada el mantenimiento.
- 2) *Purgar el sistema,* eliminando la posible presencia del aire en los botellines de desaireación.

Es recomendable que el usuario se familiarice con las siguientes operaciones básicas de actuación sobre el sistema:

- Llenado del circuito.
- Arranque y parada del sistema.
- Operación sobre los termostatos de control.





A.VI.2 OPERACIONES DE MANTENIMIENTO A REALIZAR ANUALMENTE POR PERSONAL ESPECIALIZADO

A.VI.2.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otras, que aplicadas a la instalación deben permitir mantener dentro de los límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la misma.

El mantenimiento preventivo contempla, al menos una revisión anual de la instalación para aquellas instalaciones con una superficie de captación inferior a 20 m² y al menos una revisión cada seis meses para instalaciones con superficie de captación superior a 20 m².

El mantenimiento preventivo será realizado por personal técnico cualificado y especializado con conocimientos de la tecnología solar térmica. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas.

El mantenimiento preventivo incluye las operaciones y sustitución de material fungible o desgastado por el uso, necesarias para asegurar que la instalación funcione.

Operaciones imprescindibles de mantenimiento:

- Control anual de anticongelante.
- Comprobación de la presión y llenado del circuito.
- Purgado del circuito (incluido cebado de la bomba).
- Comprobación de la presión del aire del vaso de expansión.
- Calibración del sistema de control.





- Comprobación del funcionamiento automático de la bomba.

Además se inspeccionarán visualmente y se comprobarán:

- Los colectores.
- El aislamiento.
- Válvulas manuales.
- Ruido de la bomba.
- Tuberías.

A.VI.2.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Son operaciones realizadas como consecuencia de la detección, en el plan de vigilancia ó en el mantenimiento preventivo, de cualquier anomalía en el funcionamiento de la instalación solar.

El mantenimiento correctivo será realizado por personal técnico cualificado y especializado con conocimientos de la tecnología solar térmica. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas.

El mantenimiento correctivo incluye la visita a la instalación solar, cada vez que el usuario así lo requiera por avería grave de la instalación solar, así como el análisis y presupuesto de los trabajos y reposiciones necesarios para el correcto funcionamiento de la misma.

Si el usuario está de acuerdo con el presupuesto se procederá a la reparación de la instalación solar y el usuario abonará a la empresa mantenedora el precio convenido.





ANEXO VII

TABLAS DE TEMPERATURA Y RADIACIÓN



A.VII.1 TABLAS DE TEMPERATURA

Temperatura mínima media del agua de la red general, en °C, obtenida a través de medidas directas. Los datos han sido agrupados en seis perfiles característicos (CENSOLAR)

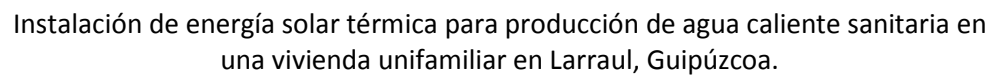
Nota: También se podrán tomar en consideración los valores indicados en la norma UNE 94002.														
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1	ÁLAVA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
2	ALBACETE	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
3	ALICANTE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
4	ALMERÍA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
5	ASTURIAS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
6	ÁVILA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
7	BADAJOS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
8	BALEARES	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
9	BARCELONA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
10	BURGOS	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
11	CÁCERES	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
12	CÁDIZ	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
13	CANTABRIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
14	CASTELLÓN	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
15	CEUTA	8	9	10	12	13	13	14	13	13	12	11	8	11,3
16	CIUDAD REAL	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
17	CÓRDOBA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
18	LA CORUÑA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
19	CUENCA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
20	GERONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
21	GRANADA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
22	GUADALAJARA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
23	GUIPÚZCOA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
24	HUELVA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
25	HUESCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
26	JAÉN	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7	12,3
27	LEÓN	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
28	LÉRIDA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
29	LUGO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
30	MADRID	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
31	MÁLAGA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
32	MELILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
33	MURCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
34	NAVARRA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
35	ORENSE	5	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,2
36	PALENCIA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
37	LAS PALMAS	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
38	PONTEVEDRA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
39	LA RIOJA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
40	SALAMANCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
41	STA. C. DE TENERIFE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
42	SEGOVIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
43	SEVILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
44	SORIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
45	TARRAGONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
46	TERUEL	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
47	TOLEDO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
48	VALENCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
49	VALLADOLID	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
50	VIZCAYA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
51	ZAMORA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
52	ZARAGOZA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3



Altitud, latitud, longitud y temperatura mínima histórica por provincias

PROVINCIA	ALTITUD (m) (de la capital)	LATITUD (°) (de la capital)	LONGITUD (°) (de la capital)	TEMP. MÍNIMA HISTÓRICA (°C)
1 ÁLAVA	542	42,9	2,7 W	-18
2 ALBACETE	686	39,0	1,8 W	-23
3 ALICANTE	7	38,4	0,5 W	-5
4 ALMERÍA	65	36,9	2,4 W	-1
5 ASTURIAS	232	43,4	5,8 W	-11
6 ÁVILA	1126	40,7	4,9 W	-21
7 BADAJOZ	186	38,9	7,0 W	-6
8 BALEARES	28	39,6	2,6 E	-4
9 BARCELONA	95	41,4	2,2 E	-7
10 BURGOS	929	42,3	3,7 W	-18
11 CÁCERES	459	39,5	6,4 W	-6
12 CÁDIZ	28	36,5	6,3 W	-2
13 CANTABRIA	69	43,5	3,8 W	-4
14 CASTELLÓN	27	40,0	0	-8
15 CEUTA	206	35,9	5,3 W	-1
16 CIUDAD REAL	628	39,0	3,9 W	-10
17 CÓRDOBA	128	37,9	4,8 W	-6
18 LA CORUÑA	54	43,4	8,4 W	-9
19 CUENCA	949	40,1	2,1 W	-21
20 GERONA	95	42,0	2,7 E	-11
21 GRANADA	775	37,2	3,7 W	-13
22 GUADALAJARA	685	40,6	3,2 W	-14
23 GUIPÚZCOA	181	43,3	2,0 W	-12
24 HUELVA	4	37,3	6,9 W	-6
25 HUESCA	488	42,1	0,4 W	-14
26 JAÉN	586	37,8	3,8 W	-8
27 LEÓN	908	42,6	5,6 W	-18
28 LÉRIDA	323	41,7	1,2 E	-11
29 LUGO	465	43,0	7,6 W	-8
30 MADRID	667	40,4	3,7 W	-16
31 MÁLAGA	40	36,7	4,4 W	-4
32 MELILLA	47	35,3	3,0 W	-1
33 MURCIA	42	38,0	1,1 W	-5
34 NAVARRA	449	42,8	1,6 W	-16
35 ORENSE	139	42,3	7,8 W	-8
36 PALENCIA	734	42,0	4,5 W	-14
37 LAS PALMAS	6	28,2	15,4 W	+6
38 PONTEVEDRA	19	42,4	8,6 W	-4
39 LA RIOJA	380	42,5	2,4 W	-12
40 SALAMANCA	803	41,0	5,6 W	-16
41 STA. CRUZ DE TENERIFE	37	28,5	16,2 W	+3
42 SEGOVIA	1002	41,0	4,1 W	-17
43 SEVILLA	30	37,4	6,0 W	-6
44 SORIA	1063	41,8	2,5 W	-16
45 TARRAGONA	60	41,1	1,2 E	-7
46 TERUEL	915	40,4	1,1 W	-14
47 TOLEDO	540	39,9	4,0 W	-9
48 VALENCIA	10	39,5	0,4 W	-8
49 VALLADOLID	694	41,7	4,7 W	-16
50 VIZCAYA	32	43,3	3,0 W	-8
51 ZAMORA	649	41,5	5,7 W	-14
52 ZARAGOZA	200	41,7	0,9 W	-11





Mapa solar de España

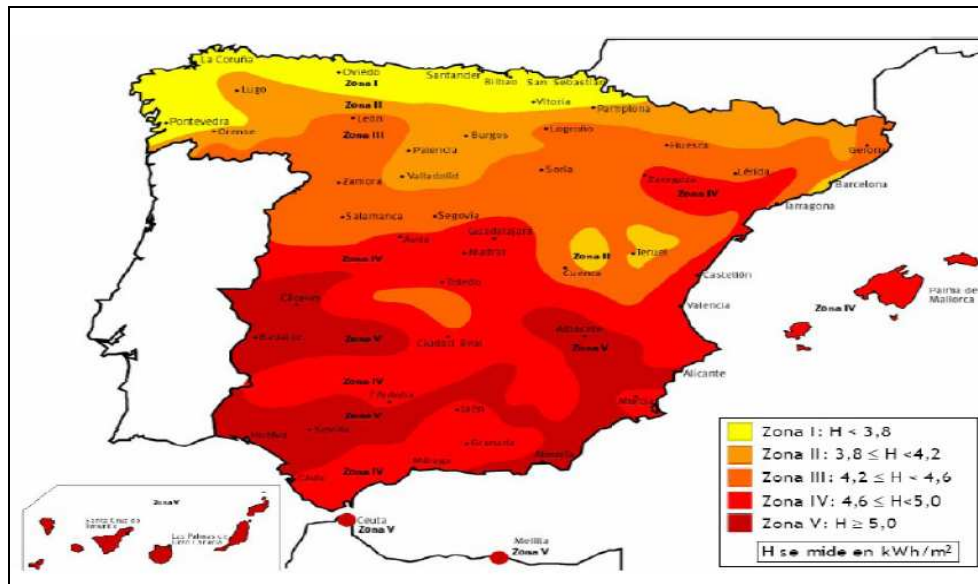
Mapa solar de España

El mapa muestra la radiación solar por provincias en España. Los valores están expresados en kWh/m². Las provincias con mayor radiación (amarillo) son las de la zona norte y noroeste, mientras que las de menor radiación (rojo oscuro) se encuentran en el sur y suroeste. Las Islas Baleares se muestran en un recuadro aparte.

Provincia	Valor (kWh/m²)
Galicia	1350, 2289
León	1170, 2042
Castilla y León	1270, 1881, 1100, 1710
País Vasco	1150, 1744, 1140, 1100, 1647, 1830
Navarra	1150, 1640, 1280
Aragón	1429, 2215, 2047
Cataluña	1480, 2703, 1840, 2681, 1370, 2444, 2477, 1530, 2616
La Rioja	1470, 2730, 1490, 2610, 1540, 2724, 1580, 2338, 1470, 2538
Castilla-La Mancha	1000, 2488, 1530, 2749, 2162, 1560, 2723, 1530, 2329, 1410, 2583, 1550
Extremadura	1680, 2698, 1600, 2634, 1480, 2705, 1550
Andalucía	1680, 2343, 1610, 2784, 1630, 2708, 1700, 2376, 2630, 1750, 2376
Murcia	1750, 2810, 1620, 2862, 1670, 3023, 2773, 1690, 2858, 1610, 2796, 1670, 3031, 1710, 3052, 2780
Islas Baleares	1940, 2897, 1780, 2175



Valor medio anual de la radiación solar global diaria en superficie horizontal en España (Instituto Nacional de Meteorología)



Energía en mega julios que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes. (CENSOLAR)

Nota: También se podrán tomar en consideración los valores indicados en la norma UNE 94003.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	4,6	6,9	11,2	13	14,8	16,6	18,1	17,3	14,3	9,5	5,5	4,1	11,3
2 ALBACETE	6,7	10,5	15	19,2	21,2	25,1	26,7	23,2	18,8	12,4	8,4	6,4	16,1
3 ALICANTE	8,5	12	16,3	18,9	23,1	24,8	25,8	22,5	18,3	13,6	9,8	7,6	16,8
4 ALMERÍA	8,9	12,2	16,4	19,6	23,1	24,6	25,3	22,5	18,5	13,9	10	8	16,9
5 ASTURIAS	5,3	7,7	10,6	12,2	15	15,2	16,8	14,8	12,4	9,8	5,9	4,6	10,9
6 ÁVILA	6	9,1	13,5	17,7	19,4	22,3	26,3	25,3	18,8	11,2	6,9	5,2	15,1
7 BADAJOZ	6,5	10	13,6	18,7	21,8	24,6	25,9	23,8	17,9	12,3	8,2	6,2	15,8
8 BALEARES	7,2	10,7	14,4	16,2	21	22,7	24,2	20,6	16,4	12,1	8,5	6,5	15
9 BARCELONA	6,5	9,5	12,9	16,1	18,6	20,3	21,6	18,1	14,6	10,8	7,2	5,8	13,5
10 BURGOS	5,1	7,9	12,4	16	18,7	21,5	23	20,7	16,7	10,1	6,5	4,5	13,6
11 CÁCERES	6,8	10	14,7	19,6	22,1	25,1	28,1	25,4	19,7	12,7	8,9	6,6	16,6
12 CÁDIZ	8,1	11,5	15,7	18,5	22,2	23,8	25,9	23	18,1	14,2	10	7,4	16,5
13 CANTABRIA	5	7,4	11	13	16,1	17	18,4	15,5	13	9,5	5,8	4,5	11,3
14 CASTELLÓN	8	12,2	15,5	17,4	20,6	21,4	23,9	19,5	16,6	13,1	8,6	7,3	15,3
15 CEUTA	8,9	13,1	18,6	21	24,3	26,7	26,8	24,3	19,1	14,2	11	8,6	18,1
16 CIUDAD REAL	7	10,1	15	18,7	21,4	23,7	25,3	23,2	18,8	12,5	8,7	6,5	15,9
17 CÓRDOBA	7,2	10,1	15,1	18,5	21,8	25,9	28,5	25,1	19,9	12,6	8,6	6,9	16,7
18 LA CORUÑA	5,4	8	11,4	12,4	15,4	16,2	17,4	15,3	13,9	10,9	6,4	5,1	11,5
19 CUENCA	5,9	8,8	12,9	17,4	18,7	22	25,6	22,3	17,5	11,2	7,2	5,5	14,6
20 GERONA	7,1	10,5	14,2	15,9	18,7	19	22,3	18,5	14,9	11,7	7,8	6,6	13,9
21 GRANADA	7,8	10,8	15,2	18,5	21,9	24,8	26,7	23,6	18,8	12,9	9,6	7,1	16,5
22 GUADALAJARA	6,5	9,2	14	17,9	19,4	22,7	25	23,2	17,8	11,7	7,8	5,6	15,1
23 GUIPÚZCOA	5,5	7,7	11,3	11,7	14,6	16,2	16,1	13,6	12,7	10,3	6,2	5	10,9
24 HUELVA	7,6	11,3	16	19,5	24,1	25,6	28,7	25,6	21,2	14,5	9,2	7,5	17,6
25 HUESCA	6,1	9,6	14,3	18,7	20,3	22,1	23,1	20,9	16,9	11,3	7,2	5,1	14,6
26 JAÉN	6,7	10,1	14,4	18	20,3	24,4	26,7	24,1	19,2	11,9	8,1	6,5	15,9
27 LEÓN	5,8	8,7	13,8	17,2	19,5	22,1	24,2	20,9	17,2	10,4	7	4,8	14,3
28 LÉRIDA	6	9,9	18	18,8	20,9	22,6	23,8	21,3	16,8	12,1	7,2	4,8	15,2
29 LUGO	5,1	7,6	11,7	15,2	17,1	19,5	20,2	18,4	15	9,9	6,2	4,5	12,5
30 MADRID	6,7	10,6	13,6	18,8	20,9	23,5	26	23,1	16,9	11,4	7,5	5,9	15,4
31 MÁLAGA	8,3	12	15,5	18,5	23,2	24,5	26,5	23,2	19	13,6	9,3	8	16,8
32 MELILLA	9,4	12,6	17,2	20,3	23	24,8	24,8	22,6	18,3	14,2	10,9	8,7	17,2
33 MURCIA	10,1	14,8	16,6	20,4	24,2	25,6	27,7	23,5	18,6	13,9	9,8	8,1	17,8
34 NAVARRA	5	7,4	12,3	14,5	17,1	18,9	20,5	18,2	16,2	10,2	6	4,5	12,6
35 ORENSE	4,7	7,3	11,3	14	16,2	17,6	18,3	16,6	14,3	9,4	5,6	4,3	11,6
36 PALENCIA	5,3	9	13,2	17,5	19,7	21,8	24,1	21,6	17,1	10,9	6,6	4,6	14,3
37 LAS PALMAS	11,2	14,2	17,8	19,6	21,7	22,5	24,3	21,9	19,8	15,1	12,3	10,7	17,6
38 PONTEVEDRA	5,5	8,2	13	15,7	17,5	20,4	22	18,9	15,1	11,3	6,8	5,5	13,3
39 LA RIOJA	5,6	8,8	13,7	16,6	19,2	21,4	23,3	20,8	16,2	10,7	6,8	4,8	14
40 SALAMANCA	6,1	9,5	13,5	17,1	19,7	22,8	24,6	22,6	17,5	11,3	7,4	5,2	14,8
41 STA. C. DE TENERIFE	10,7	13,3	18,1	21,5	25,7	26,5	29,3	26,6	21,2	16,2	10,8	9,3	19,1
42 SEGOVIA	5,7	8,8	13,4	18,4	20,4	22,6	25,7	24,9	18,8	11,4	6,8	5,1	15,2
43 SEVILLA	7,3	10,9	14,4	19,2	22,4	24,3	24,9	23	17,9	12,3	8,8	6,9	16
44 SORIA	5,9	8,7	12,8	17,1	19,7	21,8	24,1	22,3	17,5	11,1	7,6	5,6	14,5
45 TARRAGONA	7,3	10,7	14,9	17,6	20,2	22,5	23,8	20,5	16,4	12,3	8,8	6,3	15,1
46 TERUEL	6,1	8,8	12,9	16,7	18,4	20,6	21,8	20,7	16,9	11	7,1	5,3	13,9
47 TOLEDO	6,2	9,5	14	19,3	21	24,4	27,2	24,5	18,1	11,9	7,6	5,6	15,8
48 VALENCIA	7,6	10,6	14,9	18,1	20,6	22,8	23,8	20,7	16,7	12	8,7	6,6	15,3
49 VALLADOLID	5,5	8,8	13,9	17,2	19,9	22,6	25,1	23	18,3	11,2	6,9	4,2	14,7
50 VIZCAYA	5	7,1	10,8	12,7	15,5	16,7	17,9	15,7	13,1	9,3	6	4,6	11,2
51 ZAMORA	5,4	8,9	13,2	17,3	22,2	21,6	23,5	22	17,2	11,1	6,7	4,6	14,5
52 ZARAGOZA	6,3	9,8	15,2	18,3	21,8	24,2	25,1	23,4	18,3	12,1	7,4	5,7	15,6



A.VII.2. OTRAS TABLAS DE INTERÉS

Consumo estimado diario por persona/día (según tabla del IDEAE)

<i>Criterio de consumo</i>	<i>Litros/día</i>	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hoteles (4 estrellas)	70	por cama
Hoteles (3 estrellas)	55	por cama
Hoteles/Hostales (2 estrellas)	40	por cama
Campings	40	por emplazamiento
Hostales/Pensiones (1 estrella)	35	por cama
Residencias (ancianos, estudiantes, etc.)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Oficinas	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Número de personas según dormitorios

<i>Nº de dormitorios</i>	<i>Nº de personas</i>
1	1,5
2	3
3	4
4	6
5	7
6	8
7	9
8	9
Más de 8	Igual que el número de dormitorios





Factor de corrección en función de la latitud y la inclinación

LATITUD = 43°												
Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,08	1,07	1,05	1,03	1,02	1,02	1,02	1,04	1,06	1,08	1,1	1,09
10	1,15	1,12	1,09	1,06	1,04	1,03	1,04	1,07	1,11	1,16	1,19	1,18
15	1,22	1,18	1,13	1,08	1,05	1,03	1,05	1,09	1,15	1,23	1,27	1,26
20	1,28	1,22	1,16	1,09	1,05	1,03	1,05	1,1	1,19	1,29	1,35	1,33
25	1,33	1,26	1,18	1,1	1,04	1,02	1,04	1,11	1,22	1,34	1,42	1,4
30	1,37	1,29	1,2	1,1	1,03	1	1,03	1,11	1,24	1,38	1,48	1,45
35	1,41	1,31	1,2	1,09	1,01	0,98	1,01	1,1	1,25	1,42	1,52	1,5
40	1,43	1,33	1,2	1,07	0,98	0,95	0,98	1,09	1,25	1,44	1,56	1,54
45	1,45	1,33	1,19	1,05	0,95	0,91	0,95	1,06	1,24	1,45	1,59	1,57
50	1,46	1,33	1,17	1,02	0,91	0,87	0,91	1,03	1,23	1,46	1,61	1,58
55	1,46	1,32	1,15	0,98	0,86	0,82	0,86	1	1,21	1,45	1,62	1,59
60	1,45	1,3	1,12	0,94	0,81	0,76	0,81	0,95	1,17	1,44	1,62	1,59
65	1,43	1,27	1,08	0,89	0,75	0,7	0,75	0,9	1,13	1,41	1,61	1,58
70	1,41	1,23	1,03	0,83	0,69	0,64	0,69	0,84	1,09	1,38	1,58	1,56
75	1,37	1,19	0,98	0,77	0,62	0,57	0,62	0,78	1,03	1,34	1,55	1,53
80	1,33	1,14	0,92	0,7	0,55	0,49	0,55	0,71	0,97	1,28	1,51	1,49
85	1,28	1,08	0,85	0,63	0,47	0,42	0,47	0,64	0,9	1,22	1,45	1,44
90	1,22	1,02	0,78	0,56	0,4	0,34	0,39	0,56	0,83	1,16	1,39	1,38





ANEXO VIII

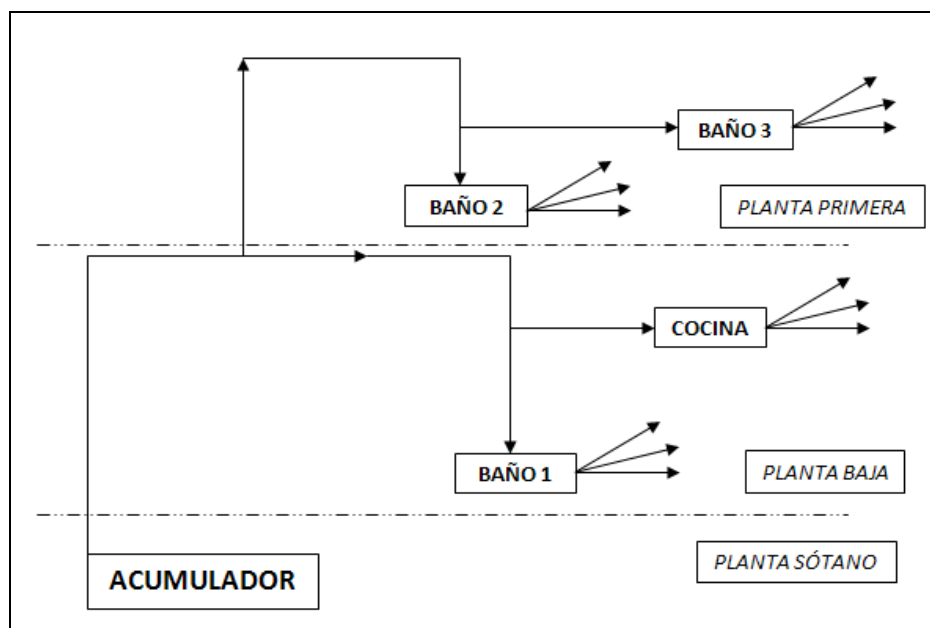
ESTIMACIÓN DEL DIÁMETRO Y LONGITUD DE LAS TUBERÍAS DEL CIRCUITO SECUNDARIO



Tuberías

Se estimarán los diámetros y longitudes de las tuberías del circuito primario con el fin de tener una idea orientativa, pero dicha estimación no será vinculante con la instalación debido a la existencia de dicho circuito.

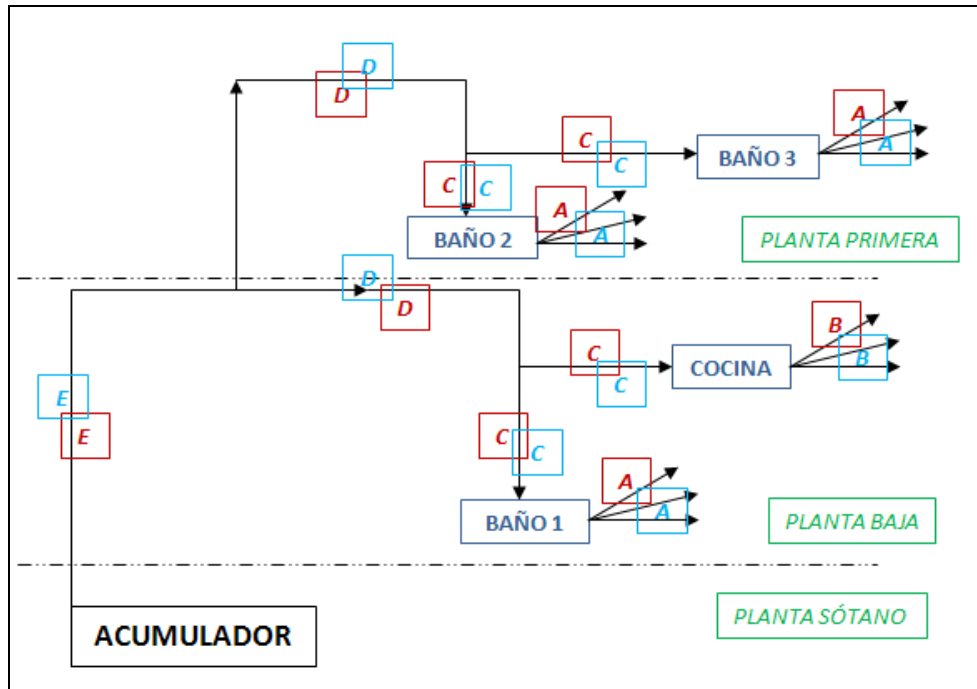
Para el dimensionado del circuito secundario de distribución de agua caliente sanitaria, se establece un esquema básico en la siguiente figura, que resume los recorridos de las tuberías desde el acumulador hasta los diferentes puntos de consumo de la vivienda.



El esquema de la figura superior representa la distribución general del circuito secundario por las diferentes plantas de la vivienda. El acumulador, situado en la planta sótano, abastece el baño 1 y la cocina de la planta baja y los dos baños de la primera planta tal y como puede observarse en la figura.



Debido a esto, se han dividido en tramos (enumerados alfabéticamente) las tuberías del circuito, diferenciándolas según las bifurcaciones del esquema.



A continuación se estudiarán los diámetros necesarios para cada punto de consumo, teniendo en cuenta el caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato según la tabla siguiente:



Tabla 2.1 Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato		
Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm ³ /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm ³ /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinaris con grifo temporizado	0,15	-
Urinaris con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

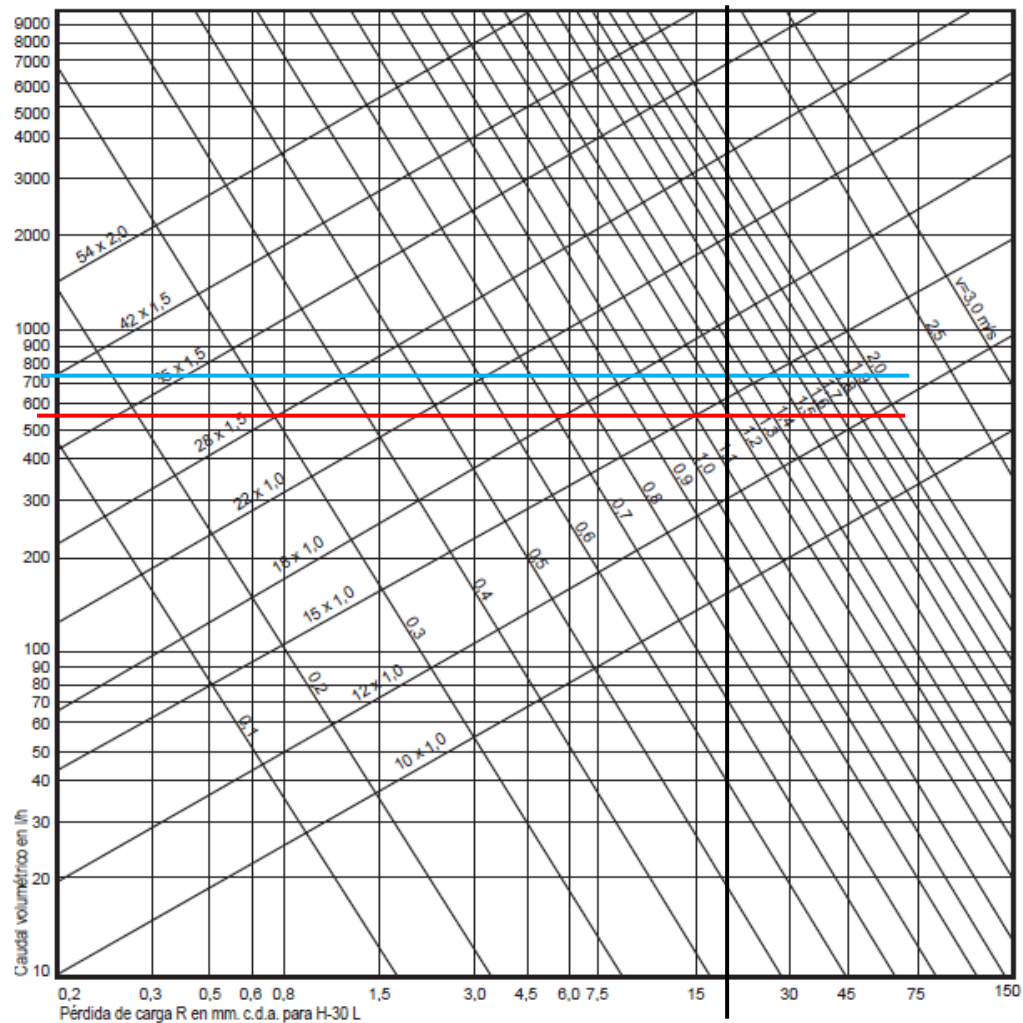
TRAMOS A: Baños

De la tabla se obtiene que el caudal mínimo de agua fría para los baños es de 0,2 dm³/s, o lo que es lo mismo, 720 litros/hora; y de agua caliente sanitaria de 0,15 dm³/s, 540 litros/ hora.

La pérdida de carga máxima admitida para el circuito secundario será de 20mmca, tanto para agua caliente como para fría.

Con estos datos y mediante el uso del diagrama de fricción para tubos de cobre se determina el diámetro mínimo necesario:





El punto de intersección de la línea negra con la roja representa el diámetro mínimo necesario para la tubería de agua caliente, mientras que la intersección con la azul representa el diámetro mínimo para la tubería de agua fría.

Se toma el diámetro normalizado inmediatamente superior, en este caso **18/20 mm** para agua fría y **15/17 mm** para agua caliente.



TRAMO B: Cocina

A continuación se determina de la misma forma el diámetro mínimo necesario en las tuberías de distribución de la cocina, teniendo en cuenta los valores mínimos que se establecen en la tabla:

Tabla 2.1 Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato		
Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm ³ /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm ³ /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

Dado que el caudal instantáneo mínimo para los aparatos de la cocina coincide con el de los baños, los diámetros mínimos son los mismos: **18/20 mm** para agua fría y **15/17 mm** para agua caliente.

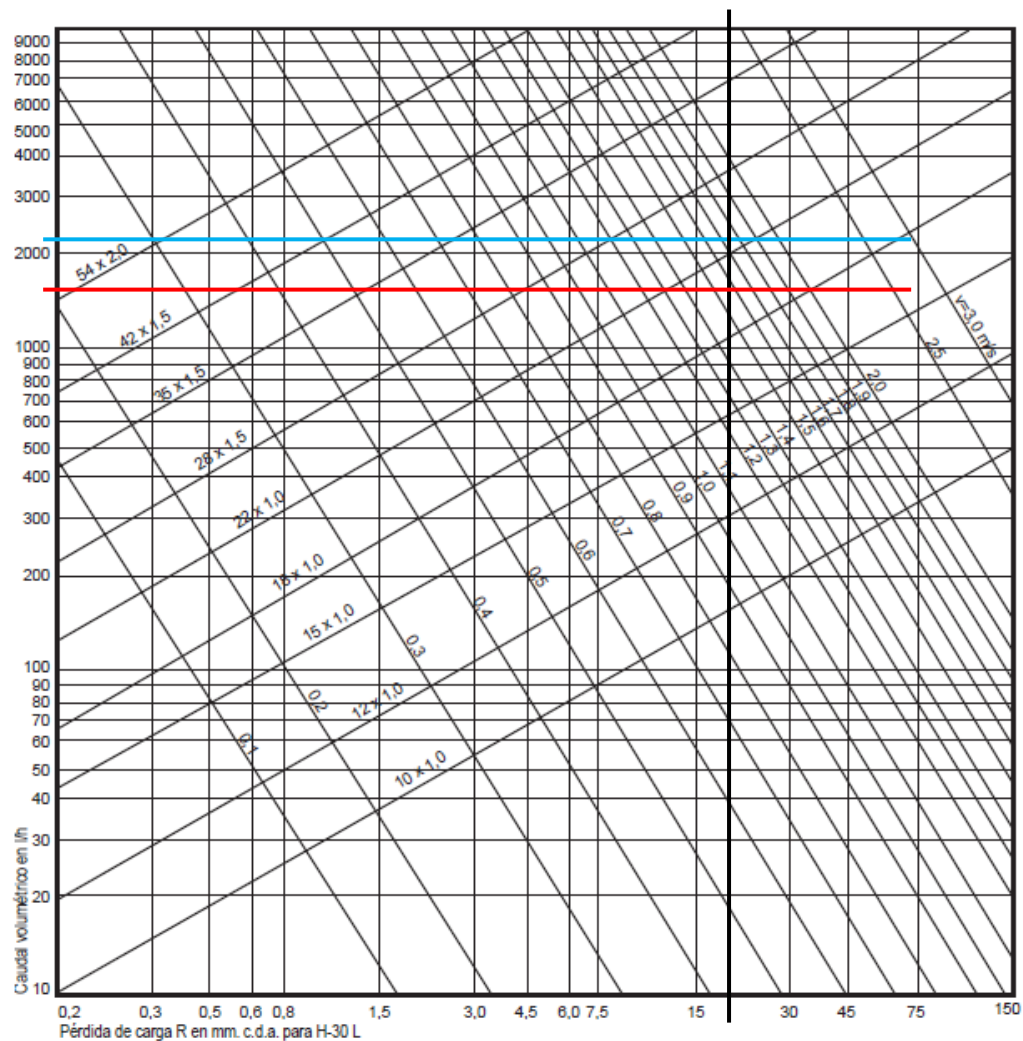
TRAMO C:

Los tramos identificados con la letra C corresponden a las tuberías que llegan hasta los baños y la cocina. Como a cada tramo C llegan tres tuberías de las dimensiones establecidas anteriormente, se define que dicho tramo llevará un caudal de:

Agua fría: $3 \times \text{Caudal tramo A} = 3 \times 720 \text{ litros/hora} = 2160 \text{ litros/hora}$.

Agua caliente: $3 \times \text{Caudal tramo A} = 3 \times 540 \text{ litros/hora} = 1620 \text{ litros/hora}$.





Diámetro tubería agua fría: **28/31 mm.**

Diámetro tubería agua caliente: **22/24 mm.**

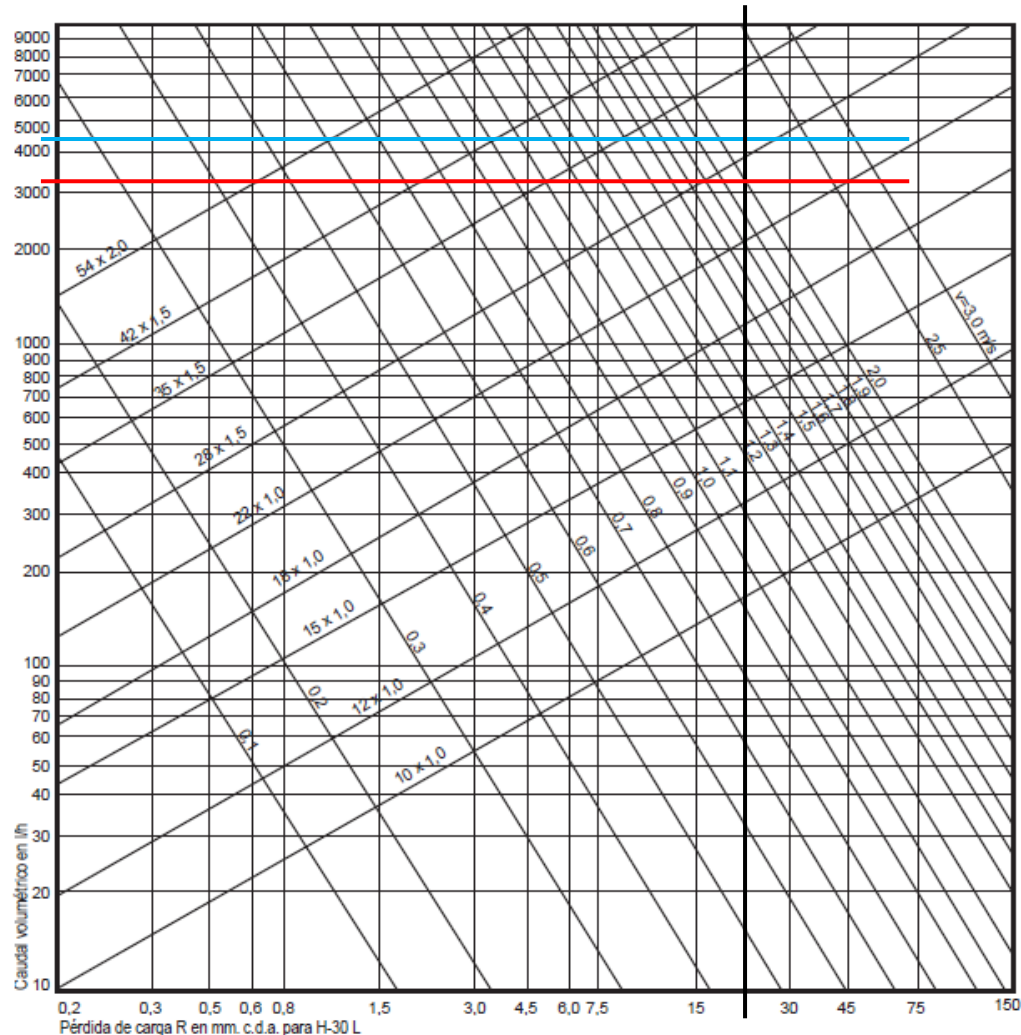
TRAMO D: Distribución por plantas

Los tramos D corresponden a las tuberías que distribuyen el agua por las dos plantas, por ellas discurre el caudal que abastece de agua a cada planta, siendo este dos veces el caudal del tramo C:



Agua fría: $2 \times \text{Caudal tramo C} = 2 \times 2160 \text{ litros/hora} = 4320 \text{ litros/hora}$.

Agua caliente: $2 \times \text{Caudal tramo C} = 2 \times 1620 \text{ litros/hora} = 3240 \text{ litros/hora}$.



Diámetro tubería agua fría: **35/38 mm**.

Diámetro tubería agua caliente: **28/31mm**.

TRAMO E: Salida acumulador

El tramo de tubería E es el que sale del acumulador hasta el primer piso, donde se bifurca en los dos tramos D que distribuyen el agua por las plantas baja

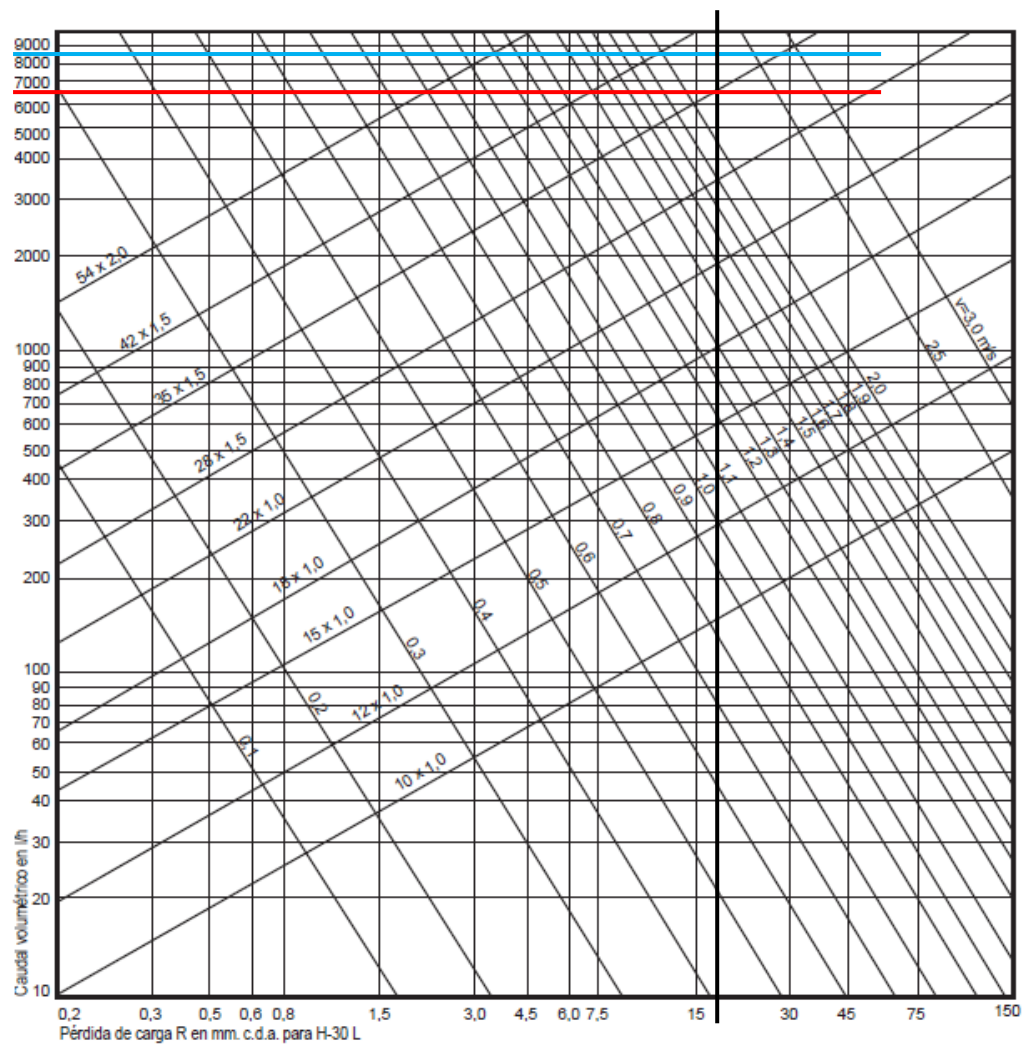


y primera.

Dicho tramo tiene que abastecer un caudal total de:

Agua fría: $2 \times \text{Caudal tramo D} = 2 \times 4320 \text{ litros/hora} = 8640 \text{ litros/hora}$.

Agua caliente: $2 \times \text{Caudal tramo D} = 2 \times 3240 \text{ litros/hora} = 6480 \text{ litros/hora}$.



Diámetro tubería agua fría: **42/45 mm.**

Diámetro tubería agua caliente: **35/38 mm.**

En la siguiente tabla se resumen los valores obtenidos para los diámetros





del circuito secundario, tanto tuberías de agua fría como caliente, según los tramos definidos inicialmente:

TRAMO	CAUDAL (l/h)		PÉRDIDA DE CARGA (mmca)	DIÁMETRO (mm)	
	AGUA FRÍA	AGUA CALIENTE		AGUA FRÍA	AGUA CALIENTE
A	720	540	20	18/20	15/17
B	720	540	20	18/20	15/17
C	2160	1620	20	28/31	22/24
D	4320	3240	20	35/38	28/31
E	8640	6480	20	42/45	35/38

